Iranian Food Science and Technology
Research Journal
Homepage: https://ifstrj.um.ac.ir

Research Article
Vol. 21, No. 1, Mar.-Apr., 2025, p. 79-101

The Use of Edible Coatings Pre and Post-harvesting on the Quality Characteristics of Golden Delicious Apple (*Malus domestica* cv. Golden Delicious)

F. Eini Tari[1], A. EhteshamNia[2*], H. Mumivand[2], M. Raji[2]

1 and 2- Ph.D. Student and Associate Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: Ehteshamnia.ab@lu.ac.ir)

Received:	20.08.2024	**How to cite this article:**
Revised:	11.09.2024	Eini Tari, F., EhteshamNia, A., Mumivand, H., & Raji, M. (2025). The use of edible coatings pre and post- harvesting on the quality characteristics of Golden Delicious apple (*Malus domestica* cv. Golden Delicious). *Iranian Food Science and Technology Research Journal, 21*(1), 79-101. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.89420.1358
Accepted:	08.10.2024	
Available Online:	16.02.2025	

Introduction

The rapid increase in population has raised concerns about food security in the world. On the other hand, to produce more food, in line with population growth, it is necessary to consider sustainable development goals so that the increase in production does not lead to excessive use of resources and environmental damage. Therefore, one of the effective ways to develop food security in line with sustainable development is to reduce the waste of agricultural products, especially garden products.

Materials and Methods

This study aims to investigate the effect of chitosan and essential oil foliar spraying pre- and calcium chloride immersion post- harvesting on Golden delicious apple fruits grafted on MM 111 (Malling Merton 111) in an 18-year-old apple orchard. A factorial experiment in the form of a completely randomized design and in four replications (each replication containing at least 30 fruits) was carried out in 2 hectares orchard located in the Abistan region of Khorram Abad city in 2021. The first factor of pre-harvest and post-harvest foliar treatments including control treatments (spraying solution with distilled water), foliar spraying of chitosan (100 mg/l) and essential oil (2500 mg/l), and immersion of harvested fruits with Calcium chloride solution (2 %) in the post-harvest stage, and the second factor is the storage period (in days 0, 60, 90 and 120 days after storage (which according to the high storage life of the apple fruit and performing the pre-test and until the end of life) Fruit storage was achieved.

Results and Discussion

The results of the analysis of variance showed that the effect of treatments and storage time on all desired characteristics was significant at the 1% level. Treated fruits had higher total phenolic and flavonoid content, antioxidant activity, vitamin C, and titratable acids and lower taste index, acidity, soluble solids, malondialdehyde, PPO activity and weight loss than the control. The highest amount of total phenol and flavonoid content, antioxidant activity, vitamin C, and titratable acids in all four measurement times belonged to chitosan + essential oil + calcium chloride treatment and the lowest amount was related to the control treatment. Also, in the control treatment, the amount of malondialdehyde, soluble solids, taste index and acidity increased during the storage period. In the fruits treated with chitosan + essential oil, the lowest acidity and soluble solids were observed, and in the chitosan treatment alone, higher titratable acids and the lowest taste index were observed. In general, based on the obtained results, it was observed that the application of chitosan and essential oil before harvesting and

https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.89420.1358

calcium chloride after harvesting improved the quality characteristics of Golden Delicious apple fruit. Weight loss is mainly caused not only by sweating but also by breathing. By forming a membrane on the surface of fruits, chitosan biopolymer acts as a mechanical and physical barrier to reduce gas exchange, and as a result, fruit maturation and aging are affected. Composite coatings reduce weight loss by maintaining hydration and reducing gas exchange and water vapor emission. Edible coatings can act on the phenylpropanoid pathway and increase the level of phenolic compounds in plants, and the phenylpropanoid pathway includes the synthesis of various plant secondary metabolites such as lignin, flavonoids, phenolic volatiles, and tannins. The semi-permeable barrier of the chitosan coating limited the rate of respiration, reduced water loss, and delayed ripening and aging, which resulted in higher total phenolic content during storage. Composite coatings delay the oxidation of phenolic compounds, eliminate metals and free radicals and create a quasi-bonded structure that prevents the passage of infiltrating materials such as O_2, CO_2, and water vapor.

Conclusion

In this research, applying a combination of chitosan + essential oil + calcium chloride as a coating on apple led to increase the vitamin C, antioxidant activity, total phenol and flavonoid content, and reduction the weight loss. In addition, the application of this treatment led to the improvement of other characteristics such as the reduction of malondialdehyde, acidity, soluble solids, taste index, and increase of titratable acids. Therefore, it can be stated that in addition to the fact that these compounds alone improved the quality of apple fruit, their combined use is also recommended as a biodegradable and natural coating to increase the storage life of Golden Delicious apple fruit.

Keywords: Edible coatings, Malondialdehyde, Titratable acids, Total phenol content

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
https://ifstrj.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۲۱، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۴، ص. ۱۰۱-۷۹

کاربرد قبل و بعد از برداشت پوشش‌های خوراکی بر ویژگی‌های کیفی میوه سیب رقم گلدن دلیشز (*Malus domestica* cv. Golden Delicious)

فاطمه عینی تاری[۱]- عبداله احتشام‌نیا[۲]*- حسن مومیوند[۲]- محمدرضا راجی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۷

چکیده

استفاده از پوشش‌های خوراکی، می‌تواند روشی مؤثر برای افزایش عمر انبارمانی میوه‌ها از جمله سیب باشند. این ترکیبات، پوشش‌های نازکی از مواد قابل خوردن هستند که به‌عنوان محافظ به‌منظور افزایش ماندگاری آن‌ها به کار گرفته می‌شوند و با ایجاد ساختار محافظت کننده در برابر آسیب‌های مکانیکی و تغییر اتمسفر درونی بافت، می‌توانند کیفیت میوه‌ها را افزایش دهند. به همین منظور، در این بررسی اثر محلول‌پاشی قبل از برداشت کیتوسان و اسانس مرزه و پس از برداشت کلرید کلسیم، بر برخی ویژگی‌های میوه سیب در چهار زمان مختلف (صفر، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ روز پس از برداشت) در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمار و زمان انبارمانی بر تمام ویژگی‌های مورد نظر در سطح یک درصد معنی‌دار بود. میوه‌های تیمار شده دارای محتوای فنول و فلاونوئید کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، ویتامین ث و اسیدهای قابل تیتراسیون بالاتر و شاخص طعم، اسیدیته، مواد جامد محلول، مالون دی‌آلدئید و فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز و کاهش وزن کم‌تر از شاهد بودند. بالاترین میزان محتوای فنول و فلاونوئید کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، ویتامین ث و اسیدهای قابل تیتراسیون در هر چهار زمان اندازه‌گیری متعلق به تیمارهای کیتوسان + اسانس + کلرید کلسیم و کم‌ترین میزان مربوط به تیمار شاهد بود. همچنین در تیمار شاهد، در مدت زمان انبارمانی میزان مالون دی آلدئید، مواد جامد محلول، شاخص طعم و اسیدیته افزایش یافت. در میوه‌های تیمار شده با کیتوسان + اسانس، کم‌ترین اسیدیته و مواد جامد محلول مشاهده شد و در تیمار کیتوسان به تنهایی، بیش‌ترین اسیدهای قابل تیتراسیون و کم‌ترین شاخص طعم وجود داشت. به‌طور کلی، براساس نتایج به دست آمده مشاهده شد که کاربرد قبل از برداشت کیتوسان و اسانس و پس از برداشت کلرید کلسیم، موجب بهبود صفات کیفی میوه سیب رقم گلدن دلیشز شد.

واژه‌های کلیدی: اسیدهای قابل تیتراسیون، پوشش‌های خوراکی، مالون دی آلدئید، محتوای فنول کل

مقدمه

سیب (*Malus pumila*) از خانواده گلسرخیان (Rosaceae) و زیر خانواده سیبیان (Pomoideae) است. در محدوده عرض جغرافیایی ۲۵ درجه تا ۵۲ درجه سازگاری دارد. سیب یک میوه معتدل است و از نظر بیولوژیکی از انواع مختلفی ترکیبات فعال و ترکیبات فنولی خاصی تشکیل شده است که به‌عنوان آنتی‌اکسیدان شناخته شده‌اند (Forsline *et al.*, 2003; Palmer *et al.*, 2003). مسائل پس از برداشت آن به‌طور روز افزون مورد توجه دست‌اندرکاران صنعت باغبانی قرار دارد. براساس آمار وزارت جهاد کشاورزی، بیش‌ترین سهم تولید محصولات باغبانی کشور مربوط به سیب (۱۸ درصد) می‌باشد، سطح زیرکشت این محصول در ایران ۲۲۹۱۴۵ هکتار (رتبه سوم جهان) و با تولید سالانه حدود ۴ میلیون تن در رتبه پنجم بعد از کشورهای چین، آمریکا، ایتالیا و لهستان قرار دارد (Agricultural statistics, 2021). سیب منبع قابل توجهی از مواد معدنی، ویتامین‌ها، پلی‌فنول‌ها، آنتوسیانین‌ها و اسیدهای آلی می‌باشد. با این اوصاف، این میوه در طول مدت انبارمانی، مستعد آسیب‌های مکانیکی برداشت و جابجایی است (Ackah *et al.*, 2022). افزایش روزافزون جمعیت، موجب بالا رفتن نگرانی‌هایی برای ایجاد امنیت غذایی در جهان شده

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: Ehteshamnia.ab@lu.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.89420.1358

است. از طرفی برای تولید غذای بیش‌تر، هماهنگ با رشد جمعیت، لازم است اهداف توسعه پایدار نیز در نظر گرفته شود تا افزایش تولید منجر به استفاده بیش از حد منابع و آسیب به محیط‌زیست نگردد (Sharma *et al*., 2020; Ashtiani *et al*., 2020; He *et al*., 2021). از این رو، یکی از راهکارهای مؤثر ایجاد امنیت غذایی که در راستای توسعه پایدار نیز باشد، کاهش ضایعات محصولات کشاورزی به‌ویژه محصولات باغی است (Miraei *et al*., 2022; Chauhan *et al*., 2021). سازمان خوار و بار و کشاورزی ملل متحد ضایعات کشاورزی را به‌صورت هرگونه تغییر فیزیکی و شیمیایی در کیفیت محصول به‌طوری‌که قابلیت مصرف خود را از دست بدهد، تعریف می‌کند. براساس آمار این سازمان، بیش از ۵۰ درصد میوه‌ها و سبزیجات تولید شده در کشورهای در حال توسعه در زنجیره تولید از مزرعه تا سفره به ضایعات تبدیل می‌شود (FAO, 2021). با کاهش این حجم قابل توجه ضایعات و رساندن آن به عددی یک رقمی همانند کشورهای توسعه یافته در حدود ۵ تا ۶ درصد می‌توان غذای چند ده میلیون نفر را تأمین نمود و گامی بزرگ در جهت ایجاد امنیت غذایی برداشت (Teuber & Jensen, 2020). یکی از روش‌های مؤثر برای افزایش عمر پس از برداشت محصولات، استفاده از پوشش‌ها و فیلم‌های خوراکی می‌باشد. پوشش‌های خوراکی، پوشش‌های نازکی از مواد قابل خوردن هستند که به‌عنوان محافظ روی سطح میوه‌ها و سبزی‌ها با هدف ایجاد یک سد نیمه تراوا به بخار آب، گازها و ترکیب‌های فرار به‌منظور افزایش ماندگاری آن‌ها به کار گرفته می‌شوند (Misir *et al*., 2014). اصطلاح "پوشش‌های خوراکی" به بسته‌بندی نازک و اولیه لایه‌های ساخته شده از مواد خوراکی اشاره دارد که می‌توان مستقیماً روی محصولات اعمال کرد که به‌طور معمول، با اسپری و غوطه‌ور کردن اعمال می‌شوند (Abhirami *et al*., 2020). از جمله مهم‌ترین مزایای فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی، زیست تخریب‌پذیری و در نتیجه نداشتن آلودگی زیستی، افزایش عمر انباری به دلیل اثر بازدارندگی بسیار خوب بر تبادل گازهای تنفسی O_2 و CO_2 و در نتیجه کنترل تنفس میوه‌ها و سبزی‌ها، کاهش خطرات میکروبی، بازدارندگی از انتقال و تبادل ترکیب‌های بودار و طعم‌دار و همچنین حفاظت محصول در مقابل صدمات مکانیکی، کاهش از دست دادن آب و رطوبت و در نتیجه کاهش چروکیدگی، به حداقل رساندن روند کاهش وزن میوه و افزایش بازارپسندی می‌باشد (Misir *et al*., 2014). اسانس و عصاره اندام‌های هوایی آن حاوی مونوترپنوئیدها، از جمله α-فلاندرن، α -پینن، β-فلاندرن، سزکویی ترپن، P-سیمن و ترکیبات فنولی همراه با فلاونوئیدها است. اسانس‌های گیاهی به‌دلیل پذیرش مصرف‌کننده و سازگاری با محیط‌زیست می‌توانند برای کنترل عوامل بیماری‌زای قارچی مؤثر باشند (Zhang *et al*., 2019; Khaliq *et al*., 2019). مرزه خوزستانی با نام علمی *Satureja khuzistanica* Jamzad یکی از گونه‌های بومی *Satureja* است که در کوهپایه‌ها و شکاف سنگ آهک و بخش جنوب غربی ایران یافت می‌شود. مقدار مواد فعال اسانس *S. khuzistanica* از ۱ تا ۵ درصد متغیر است (Alizadeh, 2013). اسانس و عصاره *S. khuzistanica* دارای خواص بیولوژیکی از جمله آنتی‌باکتریال (Saei-Dehkordi *et al*., 2012)، ضد قارچ (Zarrin *et al*., 2010; Sadeghi-Nejad *et al*., 2011)، آنتی‌اکسیدان (Ahmadvand *et al*., 2012; Saei-Dehkordi *et al*., 2012; Rezvanifar *et al*., 2010)، ضد التهاب، ضد دیابت و ضد اسپاسم است (Alizadeh, 2013). کیتوسان یک پلی‌ساکارید کاتیونی است کـه از فرآیند استیل‌زدایی قلیایی کیتین بدست می‌آید که دارای کاربردهای گوناگون به صورت شیمیایی و آنزیمی با اثرات ضد قارچی، ضد باکتریایی، ضد سرطانی و ضد کلسترولی می‌باشد. کیتوسان یک مشتق پلیمر کربوهیدرات معمولی است که حاصل استیل‌زدایی کیتین، که جزء اصلی پوسته سخت پوستان مانند خرچنگ و میگو است (Szlachta *et al*., 2020). علاوه بر این، کلسیم نیز نقش مهمی در بیان ژن‌های مؤثر بر تولید میوه و کیفیت بازی می‌کند (Wu *et al*., 2023)، همان‌طور که دیواره‌های سلولی و نفوذپذیری آن‌ها را تضمین می‌کند و از تخریب آنزیمی محافظت می‌کند (Zhi *et al*., 2017). کلسیم در میوه‌ها به حفظ سفتی و تورگر سلولی، کاهش بروز بیماری‌ها و پیشگیری از اختلالات فیزیولوژیک کمک می‌کند (Jain *et al*., 2019). این عنصر بر رسیدن برخی میوه‌ها و میزان تنفس و تولید اتیلن تأثیر می‌گذارد و در نتیجه باعث افزایش طول عمر و کیفیت میوه‌ها در طول ذخیره‌سازی می‌شود (Michailidis *et al*., 2020). در این خصوص در پژوهشی، کاربرد پس از برداشت نانو کربنات کلسیم بر فعالیت آنزیمی و برخی خصوصیات کیفی در سیب تازه بریده رقم ʻگلدن دلیشزʼ بررسی و نشان داده شد که از بین تیمارهای مورد استفاده، تیمار بعد برش با غلظت ۰/۱ درصد بیش‌ترین تاثیر را در حفظ ویتامین ث با مقدار ۶/۹۴ میلی‌گرم اسید آسکوربیک و درصد کاهش وزن با مقدار ۲/۰۱ درصد در طی مدت نگهداری نشان داد (Asghari *et al*., 2017). در مطالعه‌ای دیگر، ویژگی‌های شیمیایی و بررسی فعالیت مهارکنندگی و کشندگی رشد قارچ‌های عامل فساد و کپک‌زدگی پس از برداشت میوه سیب با استفاده از اسانس مور تلخ (*Salvia mirzayanii*) را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که میوه‌های تیمار شده با این اسانس، دارای بالاترین محتوای فنول کل و فلاونوئید کل بودند و به‌طور قابل توجهی موجب مهار رادیکال‌های آزاد DPPH و ABTS شدند (Rahmati Junidabad *et al*., 2022). بررسی تأثیر پوشش خوراکی کیتوسان بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و فعالیت آنزیمی میوه انگور رقم فخری در شرایط سردخانه نشان داد که، غلظت

۱ درصد کیتوسان به خوبی توانست آلودگی، ریزش حبه، کاهش اسیدیته قابل تیتراسیون و کاهش اسیدآسکوربیک را کنترل نماید و غلظت ۰/۵ درصد کیتوسان نیز سبب جلوگیری از کاهش وزن و قهوه‌ای شدن حبه‌ها نسبت به سایر غلظت‌ها و نمونه شاهد گردید (Shokri *et al.*, 2023). در پژوهشی دیگر، کاربرد قبل از برداشت کیتوسان و پوشش‌دهی با کارواکرول بر خصوصیات بیوشیمیایی، کیفی و ماندگاری توت فرنگی بررسی شد و نتایج نشان داد که میوه‌های تیمار شده با ترکیب کیتوسان و کارواکرول ۰/۶ درصد از سفتی بافت، ویتامین ث، مواد فنولی و مقدار مواد جامد محلول بیش‌تر و ماندگاری بهتری نسبت به شاهد برخوردار بودند (Ghasemi Arshad *et al.*, 2023). در پژوهشی نیز به بررسی اثر پوشش‌های خوراکی کیتوسان و ژل آلوئه‌ورا بر کیفیت و عمر انبارمانی گیلاس رقم لامبرت پرداخته شد و براساس نتایج ارائه شده، بیش‌ترین میزان مواد جامد قابل حل و نسبت آن‌ها به اسید کل در نتیجه کاربرد ۴۵ درصد ژل آلوئه‌ورا همراه با ۰/۵ درصد پوشش کیتوسان حاصل شد و ترکیب آلوئه‌ورا با غلظت‌های ۳۰ و ۴۵ درصد همراه با کیتوسان ۱ و ۱۵۱ درصد توانستند سفتی بافت میوه را در طی فرآیند انبارمانی نسبت به سایر تیمارها بهتر حفظ نمایند (Shokouhian *et al.*, 2024). بررسی کیفیت میوه توت فرنگی پوشش‌دار شده با کیتوسان/کارواکرول نشان داد که در نمونه‌های تیمار شده به‌ترتیب ۱۳/۷۸ و ۱۳/۵۱ درصد نسبت به شاهد، کاهش وزن کم‌تری نشان دادند و بررسی سایر ویژگی‌ها از جمله سفتی بافت و مواد جامد محلول نیز نشان‌دهنده تأثیر مثبت پوشش بر این پارامترها بود (Pizato *et al.*, 2022). ارزیابی محتوای کلسیم در میوه گلابی تحت انبار پس از کاربرد کلرید کلسیم در مراحل قبل و بعد از برداشت نشان داد که بالاترین غلظت کلرید کلسیم در طول قبل از برداشت، کم‌ترین مقدار کل جامدات محلول را ارائه کرد. همچنین، این مطالعه نشان داد که تیمار قبل از برداشت، محتوای کلسیم را در داخل میوه‌ها افزایش داد، اما غوطه‌وری پس از برداشت را می‌توان علاوه بر تیمارهای قبل از برداشت برای جلوگیری از پوسیدگی و افزایش کیفیت میوه به کار برد (Pessoa *et al.*, 2022). در مطالعه‌ای نیز به ارزیابی اثر کلرید کلسیم بر کیفیت پس از برداشت میوه سیب رقم گالا پرداخته شد که یافته‌های این پژوهش نشان داد که تیمارهای کلسیم پس از برداشت از نرم شدن میوه جلوگیری کرده و کاهش وزن در تیمار کلرید کلسیم یک درصد، به حداقل رسانده شد (Beiparysa *et al.*, 2023). همچنین بررسی کاربرد قبل از برداشت کامپوزیت کیتوسان- اسانس مورد و پس از برداشت نانوسلولز بر کیفیت توت‌فرنگی نشان داد که استفاده از پوشش کامپوزیت کیتوسان- اسانس برای محلول‌پاشی، ویژگی‌های بیوشیمیایی مانند محتوای فنول و فلاونوئید کل، ویتامین ث، سفتی و مواد جامد محلول را افزایش و کاهش وزن میوه‌ها را بین ۵۰ تا ۸۰ درصد کاهش دهد (Ehtesham Nia *et al.*, 2023). بنابراین با توجه به بررسی منابع، پژوهش حاضر با هدف بررسی کاربرد کیتوسان و اسانس مرزه خوزستانی در مراحل قبل و غوطه‌وری در کلریدکلسیم در مرحله پس از برداشت به‌منظور حفظ کیفیت سیب گلدن دلیشز بر پایه رویشی MM 111 بود و اثر آن‌ها بر برخی خصوصیات بیوشیمیایی میوه سیب در زمان نگهداری در انبار انجام شد.

مواد و روش‌ها

شرایط و محل اجرای آزمایش

این مطالعه به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی قبل از برداشت کیتوسان و اسانس مرزه خوزستانی و غوطه‌وری بعد از برداشت کلرید کلسیم بر میوه‌های سیب رقم زرد (*Golden delicious*) پیوند شده روی پایه MM 111 (Malling Merton 111) در یک باغ سیب ۱۸ ساله، به مساحت ۲ هکتار واقع در منطقه آبستان شهرستان خرم آباد در سال ۱۴۰۰، به‌صورت آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح کاملا تصادفی و در چهار تکرار (هر تکرار شامل حداقل ۳۰ عدد میوه) انجام شد. فاکتور اول تیمارهای محلول‌پاشی قبل و پس از برداشت شامل تیمارهای شاهد (محلول‌پاشی با آب مقطر)، محلول‌پاشی کیتوسان (۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و اسانس (۲۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و غوطه‌وری میوه‌های برداشت شده با محلول کلریدکلسیم (۲ درصد) در مرحله پس از برداشت و فاکتور دوم مدت زمان انبارمانی (در روزهای صفر، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ روز پس از انبارداری (که با توجه به عمر انبارمانی بالای میوه سیب و انجام پیش-آزمایش و تا زمان پایان عمر انبارمانی میوه (بازارپسندی) حاصل شد)) بود. محلول‌پاشی در سه مرحله نیمه خرداد، تیر و شهریور ماه (بر روی درختان میوه همسن، سالم، با هرس و شکل تاج مناسب برای نوردهی کافی) با استفاده از سمپاش ۱۵ لیتری در ساعات اولیه صبح روزهای تعیین شده انجام شد. برای انجام غوطه‌وری‌های پس از برداشت، میوه-های سالم و عاری از آفات و بیماری‌ها از درختان علامت‌گذاری شده از قبل، به‌طور تصادفی انتخاب شدند. بدین ترتیب که میوه‌ها پس از شستشوی اولیه با آب شرب ابتدا با آب مقطر شستشو، خشک و سپس در محلول کلرید کلسیم در دمای اتاق به‌مدت ۸ دقیقه غوطه‌ور شدند. پس از قرارگیری به‌مدت لازم در مجاورت جریان هوای خنک به‌منظور حصول اطمینان از حذف رطوبت سطحی اضافی، در جعبه‌های پلاستیکی میوه و یخچال دمای ۴ درجه و رطوبت نسبی ۸۰ تا ۹۰ درصد تا زمان اندازه‌گیری پارامترها نگهداری شد.

ویژگی‌های مورد بررسی

نمونه‌هایی که برای اندازه‌گیری کاهش وزن انتخاب شدند به‌طور جداگانه و ثابت در یک ظرف برچسب‌گذاری شده نگهداری شدند. در

روز اول، وزن اولیه نمونه‌ها با ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ مدل GE120 اندازه‌گیری و در روزهای دیگر نیز وزن نمونه‌ها ثبت و اختلاف میان وزن نمونه‌ها در روزهای مختلف با روز پایانی بیان‌گر میزان کاهش وزن بود و به‌صورت درصد کاهش وزن بیان شد (Jan *et al*., 2012).

$$Weight\ loss = \frac{[W1 - W2]}{W1} * 100$$

W1= وزن نمونه در ابتدای آزمایش، W2=وزن نمونه در انتهای آزمایش

برای اندازه‌گیری اسیدیته (pH) آب میوه با استفاده از دستگاه pH سنج (مدل ۳۲۲۰) اندازه‌گیری شد. به این منظور، ابتدا دستگاه با بافرهای ۴ و ۷ کالیبره و سپس الکترود دستگاه داخل آب میوه قرار داده شد، پس از ثابت شدن عدد نمایش داده شده، میزان pH ثبت گردید (Khan *et al*., 2008).

جهت اندازه‌گیری اسیدهای قابل تیتراسیون، ۵ میلی‌لیتر از آب میوه در استوانه مدرج ریخته و با اضافه کردن آب مقطر به حجم ۵۰ رسانده شد. برای رساندن pH به ۸/۱ از هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال استفاده گردید و در نهایت اسیدیته قابل تیتر به‌صورت درصد اسیدمالیک بیان شد (Said *et al*., 2020).

مواد جامد محلول نمونه‌ها در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و با استفاده از رفرکتومتر (ATAGO, Japan) قرائت شد، ابتدا، رفرکتومتر با آب مقطر کالیبره گردید و پس از هر بار قرائت به دقت رفرکتومتر تمیز شد تا از خطا جلوگیری گردد. شاخص رسیدگی یا طعم میوه نیز از نسبت مواد جامد محلول به اسیدیته قابل تیتراسیون محاسبه گردید (Rocculi *et al*., 2004).

محتوای ویتامین‌ث به روش تیتراسیون ۲،۶-دی‌کلروفنول ایندوفنول برآورد شد. ابتدا ۵ میلی‌لیتر آب میوه در ۵۰ میلی‌لیتر محلول ۰/۰۲ گرم در میلی‌لیتر محلول اسیداگزالیک همگن و سپس سانتریفیوژ شد (در ۱۵۰۰۰ دور به‌مدت ۱۵دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد). سپس مایع‌رویی (۱۰ میلی‌لیتر) با ۰/۱ درصد ۲،۶-دی‌کلروفنول ایندوفنول به رنگ صورتی دائمی تیتر شد. غلظت ویتامین ث با توجه به حجم تیتراسیون ۲،۶ دی‌کلروفنول‌ایندوفنول طبق رابطه زیر و به صورت میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر عصاره میوه بیان شد (He *et al*., 2021):

$$AA = (V \times F \times Y \times 100)/(W \times T)$$

AA: میزان آسکوربیک اسید در هر ۱۰۰ میلی‌لیتر عصاره میوه تازه، V: میلی‌لیتر ایندوفنول مصرف شده در تیتراسیون، F: عامل ایندوفنول که برای محلول استاندارد اسیدآسکوربیک برابر با ۰/۲۵ است، Y: میلی‌لیتر حجم مخلوط میوه و اسیداگزالیک، W: گرم وزن نمونه، T: میلی‌لیتر حجم نمونه

برای اندازه‌گیری میزان مالون دی آلدئید، مقدار ۱ گرم از نمونه میوه با محلول تری کلرواستیک اسید (۵ درصد وزنی/حجمی) ترکیب گردید. نمونه‌ها در دمای ۴ درجه به‌مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. سپس ۲ میلی‌لیتر از محلول روشناور حاصل جدا و ۲ میلی‌لیتر محلول ۶ درصد تیوباربیوتیک اسید به آن افزوده شد. سپس ترکیب حاصل در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۱۰ دقیقه حرارت داده شد. سپس مخلوط سرد شده و با سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ گردید. در نهایت، جذب نمونه در طول موج‌های ۴۵۰، ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر ثبت و محتوای مالون دی آلدئید با استفاده از رابطه زیر به دست آمد (Zheng &Tian, 2006):

$$\mathrm{MDA} = 6.45(\mathrm{OD}532 - \mathrm{OD}600) - 0.56(\mathrm{OD}450)$$

OD: میزان جذب در طول موج مورد نظر

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، از طریق خنثی‌کننـدگی رادیکـال آزاد (۲ و ۲ دی‌فنیل۱-پیکریل هیدرازیل) تعیین شد. ابتدا برای تهیه عصاره، مقدار ۲ گرم از بافت میوه با استفاده از نیتروژن مایع در هاون چینی آسیاب و مقدار ۲ میلی‌لیتر از حلال اسـتخراج متشـکل از متـانول (۸۵ درصد) و استیک اسید (۱۵ درصـد) به آن اضـافه شـد. پـس از مخلـوط کردن، نمونه‌ها به‌مـدت ۲۴ سـاعت در دمـای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری و سپس به‌مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. سـپس ۲۰۰ میکرولیتر از قسمت روشناوری برداشته و از فیلتر یکبار مصرف سرسرنگی بـا قطر منافـذ ۰/۴۵ میکرومتر گذرانده شد (Lister *et al*., 1994).

در مرحله بعد برای اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره، ۵۰ میکرولیتر از عصاره داخل لوله‌های آزمایش کوچک ریخته شد و مقدار ۹۵۰ میکرولیتر محلول DPPH ۰/۱ نرمال به آن‌ها اضافه و سپس ورتکس گردید. در مرحله بعد، به‌مدت ۳۰ دقیقـه در یک محفظه تاریک در دمای اتاق نگهداری شد و در نهایت، میزان جذب شاهد (۱ میلی‌لیتر محلول DPPH ۰/۱ نرمال) و نمونه با اسـتفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر (UV-3200, MAPADA, Shanghai-China) در طول موج ۵۱۷ نانومتر تعیین و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها به‌صورت درصد بازدارندگی DPPH و بـا اسـتفاده از فرمول زیر محاسبه شد (Brand- Williams *et al*., 1995).

$$\mathrm{DPPH}\ (\%) = \left[\frac{A1 - A2}{A1}\right] * 100$$

DPPH: درصد بازدارندگی رادیکال آزاد، A1: میزان جذب DPPH، A2: میزان جذب عصاره

میزان فنول کل در عصاره بـه روش Folin -Ciocalteu اندازه‌گیری شد. ابتدا بـه ۱۲۵ میکرولیتـر از عصـاره، ۳۷۵ میکرولیتر آب، ۲۵۲ میلی‌لیتر فولین ۱۰ درصد اضـافه شـد و بعـد از ۶ دقیقه ۲

میلی‌لیتر کربنات سدیم ۷/۵ درصد نیز به آن‌ها اضافه گردید. سپس نمونه‌ها به‌مدت ۱/۵ ساعت در تاریکی و در دمای اتاق نگهداری شدند و بعد از آن میزان جذب با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-3200, MAPADA, Shanghai-China) در طول موج ۷۶۰ نانومتر اندازه‌گیری و میزان فنول کل بر حسب میلی‌گرم اسیدگالیک در گرم بافت تر بیان گردید (D Abrosca *et al.*, 2008; Drogoudi *et al.*, 2008).

برای اندازه‌گیری فلاونوئیدها از روش رنگ‌سنجی کمی استفاده شد، به این منظور، به ۵۰۰ میکرولیتر از عصاره ۱۰۰ میکرولیتر کلرید آلومینیوم ۱۰ درصد اضافه شد. پس از گذشت ۵ دقیقه، ۱۰۰ میکرولیتر استات پتاسیم ۱ مولار و ۲۸۰۰ میکرولیتر آب مقطر اضافه شد. میزان جذب در طول موج ۴۱۵ نانومتر (بلانک متانول) با دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-3200, MAPADA, Shanghai-China) ثبت و سپس مقدار فلاونوئید کل برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تازه بیان گردید (Pavun *et al.*, 2018).

فعالیت پلی‌فنول اکسیداز با توجه به روش (Jiang & Fu, 1998) اندازه‌گیری شد. در این روش، اکسیداسیون ۴–متیل کاتکول ناشی از پلی‌فنول اکسیداز در ۴۱۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر (UV-3200, MAPADA, Shanghai-China)، افزایش جذب در هر دقیقه کنترل و میانگین تغییر جذب در دقیقه محاسبه و فعالیت پلی‌فنول اکسیداز به‌صورت واحد در گرم پروتئین بیان شد.

آنالیز آماری

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی طرح‌ریزی در چهار تکرار انجام شد. فاکتور اول، اثر تیمارهای مورد بررسی در شش سطح شامل:

Control = شاهد (شست و شو با آب مقطر)

CH=کیتوسان (محلول‌پاشی قبل از برداشت)

ES= اسانس مرزه خوزستانی (محلول‌پاشی قبل از برداشت)

CH+ES=کیتوسان + اسانس (محلول‌پاشی قبل از برداشت)

$CaCl_2$= کلریدکلسیم (غوطه‌وری پس از برداشت)

$CH+ES+CaCl_2$ =کیتوسان+اسانس (محلول‌پاشی قبل از برداشت) +کلریدکلسیم (غوطه‌وری پس از برداشت)

برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel، برای تجزیه و تحلیل اطلاعات به‌دست آمده از نرم‌افزار SAS (PROC GLM in SAS v. 9.2) و برای گروه‌بندی میانگین‌ها در سطح پنج درصد از آزمون دانکن استفاده شد.

نتایج و بحث

اثر کیتوسان، اسانس و غوطه‌وری در کلرید کلسیم بر کاهش وزن

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل تیمار و زمان انبارمانی اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر میزان کاهش وزن داشت (جدول ۱). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که افزایش مدت زمان انبارمانی، درصد کاهش وزن را افزایش داد و تیمارهای مورد استفاده در مراحل قبل و پس از برداشت، موجب کاهش این ویژگی شدند. بر همین اساس، بیش‌ترین کاهش وزن (۱۸/۴۷ درصد) در تیمار شاهد در روز ۱۲۰ام بعد از انبارمانی به‌دست آمد. کم‌ترین میزان کاهش وزن (۴/۶۵ درصد) در تیمار ترکیبی کیتوسان + اسانس +کلرید کلسیم در زمان اول انبارمانی مشاهده شد (شکل ۱). گزارش‌های قبلی نیز اثر پوشش ایمن و زیست تخریب‌پذیر را بر کاهش وزن میوه‌های انبه (Xing *et al.*, 2020)، سیب (Liu *et al.*, 2021) و زغال اخته (Rokayya *et al.*, 2021) را نشان داده‌اند. کاهش وزن عمدتاً نه تنها در اثر تعرق، بلکه در اثر تنفس نیز ایجاد می‌شود. بیوپلیمر کیتوسان با تشکیل یک غشا بر روی سطح میوه‌ها، به‌عنوان یک مانع مکانیکی و فیزیکی برای کاهش تبادل گاز عمل می‌کند و در نتیجه بلوغ و پیری میوه تحت تأثیر قرار می‌گیرد. پوشش‌های کامپوزیتی با حفظ هیدراتاسیون (تنظیم تعرق) و کاهش تبادل گاز و انتشار بخار آب، کاهش وزن را کاهش می‌دهد (Ehteshamnia *et al.*, 2021). به نظر می‌رسد که اثر ترکیبی بر کاهش وزن، ناشی از کاهش تجمع اتیلن از طریق فرآیند تقلیل فوتوکاتالیستی بوده تا جایی که پاسخ‌های رسیدن ناشی از اتیلن و کاهش وزن به تأخیر می‌افتد. بنابراین، ترکیب پوشش‌ها در کنترل کاهش وزن میوه‌های تازه مؤثر است (Rokayya et *al*., 2021).

اثر کیتوسان، اسانس و غوطه‌وری در کلرید کلسیم بر اسیدیته و اسیدهای قابل تیتراسیون

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل تیمارها بر میزان اسیدیته و اسیدهای قابل تیتراسیون در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). افزایش زمان انبارمانی موجب افزایش اسیدیته و کاربرد پوشش‌ها موجب کاهش اسیدیته گردید. در تیمار شاهد در روز ۱۲۰ام، بیش‌ترین میزان اسیدیته (۴/۳۴) نسبت به سایر تیمارها وجود داشت و در تیمار ترکیبی کیتوسان + اسانس در روز ۶۰ام، کم‌ترین میزان اسیدیته (۳/۰۷۶) به‌دست آمد (شکل ۲).

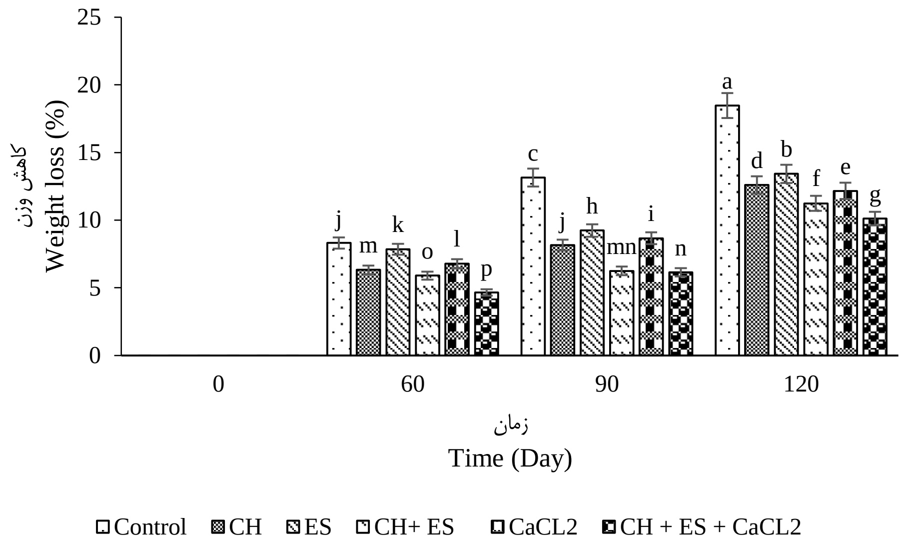
جدول ۱- تجزیه واریانس اثر زمان و تیمار بر ویژگی‌های بیوشیمیایی میوه سیب

Table 1- ANOVA (mean squares) for the effect of time and treatment on biochemical traits of apple fruit

		میانگین مربعات Mean squares				
منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	کاهش وزن Weight loss	اسیدیته pH	مواد جامد محلول TSS	اسیدهای قابل تیتراسیون TA	شاخص طعم TSS/TA
تیمار (a) Treatment (a)	5	44.143**	0.636**	6.670**	0.011**	3073.09**
زمان (b) Time (b)	3	701.459**	1.287**	22.075**	0.026**	7477.09**
تیمار*زمان a*b	15	7.714**	0.143**	0.996**	0.002**	648.31**
خطا Error	72	0.016	0.046	0.190	0.0001	18.04
ضریب تغییرات (٪) CV. (%)	-	1.79	5.37	2.22	4.11	5.05

*، ** و ns: وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم اختلاف معنی‌دار.

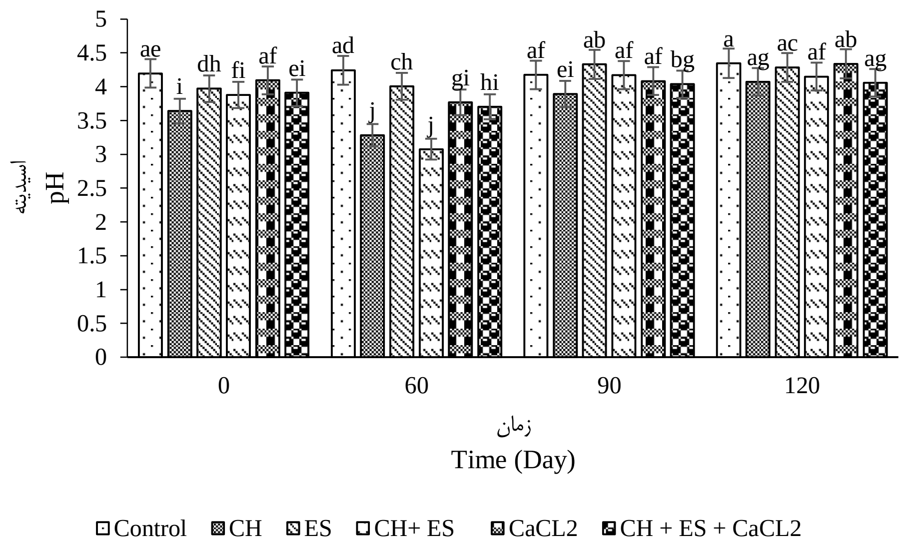
*, ** and ns: Significant at 5% and 1% levels of probability and non-significant, respectively.



شکل ۱- اثر متقابل تیمار و زمان انبارمانی بر میزان کاهش وزن میوه سیب

(میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد غیر معنی‌دار هستند)

Fig. 1. Interaction effect of treatment and storage time on weight loss of apple fruit (LSD, p≤0.05)



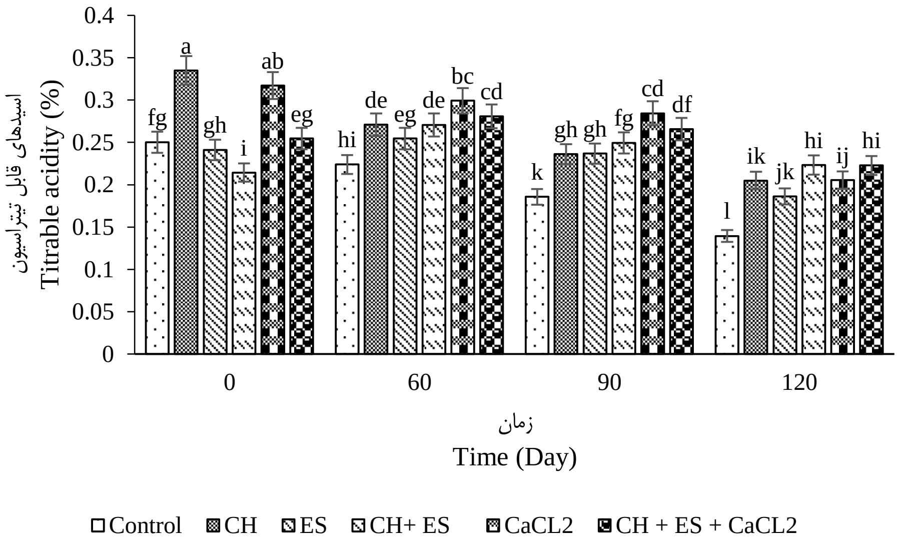
شکل ۲- اثر متقابل تیمار و زمان انبارمانی بر اسیدیته میوه سیب

(میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد غیر معنی‌دار هستند)

Fig. 2. Interaction effect of treatment and storage time on pH of apple fruit (LSD, p≤0.05)

اسیدهای قابل تیتراسیون طی گذشت زمان انبارمانی کاهش نشان داد و در مقابل، در نمونه‌های تیمار شده افزایش اسیدهای قابل تیتراسیون به‌دست آمد. کم‌ترین میزان (۰/۱۳۹ درصد) متعلق به تیمار شاهد در روز ۱۲۰ام بعد از انبارمانی بود، بیش‌ترین میزان (۰/۳۳۵ درصد) در تیمار کیتوسان در روز صفر مشاهده شد (شکل ۳). تنفس یک فرآیند آنزیمی است و آنزیم‌های دخیل در تنفس از اسیدهای آلی به‌عنوان پیش‌ماده استفاده می‌کنند (Vieira *et al.*, 2016). بنابراین اسیدهای قابل تیتراسیون معمولا در طول ذخیره‌سازی کاهش می‌یابند و حداکثر کاهش، نشان‌دهنده پیری است (Cosme Silva *et al.*, 2017). اسیدیته نیز یک پارامتر مهم در حفظ کیفیت میوه است که ارتباط مستقیمی با غلظت اسیدهای آلی غالب آن دارد (Gao *et al.*, 2013). بنابراین، محتوای اسیدهای قابل تیتر و اسیدیته میوه

نشان‌دهنده وضعیت میوه از نظر زمان پیری است که می‌تواند به‌دلیل مصرف اسید آلی در فرآیند تنفس و تبدیل آن‌ها به قندها باشد (Vargas *et al*., 2006). از طرفی، پوشش‌های خوراکی موجب کاهش پیری، تنفس و فعالیت آنزیم، کاهش تلفات رطوبت، حفاظت در برابر مکانیکی، جلوگیری از آسیب و رشد میکروبی، محافظت بافت، رنگ و طعم می‌شوند (Mahajan *et al*., 2014). افزایش اسیدهای قابل تیتراسیون در میوه‌های پوشش داده شده به‌دلیل کاهش تغییرات متابولیک اسیدهای آلی به CO_2 و آب می‌باشد. تبدیل متابولیک ممکن است منجر به کاهش سرعت تنفس شود، بنابراین غلظت بالاتری از اسیدهای آلی حفظ می‌شود (Hong *et al*. 2016). کیتوسان، اسانس و کلرید کلسیم مانند هر پوشش دیگری، تنفس را کاهش می‌دهد و نرخ تولید اتیلن با محدود شدن تبادل گازی که منجر به افزایش CO_2 و کاهش O_2 می‌شود را کاهش می‌دهد، در نتیجه منجر به کاهش مصرف اسیدهای آلی و جلوگیری از افزایش اسیدیته میوه می‌شود (Salvia-Trujillo *et al*., 2015).



شکل ۳- اثر متقابل تیمار و زمان انبارمانی بر اسیدهای قابل تیتراسیون میوه سیب

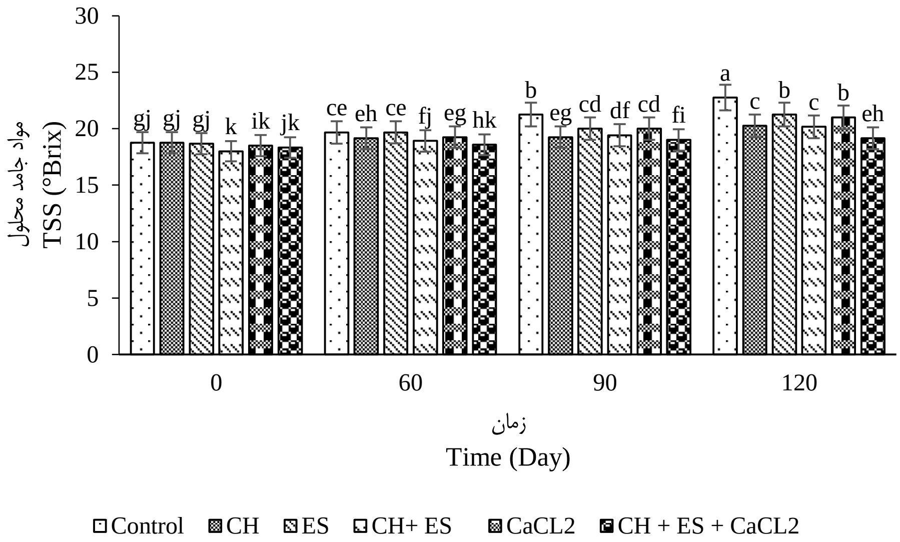
(میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد غیر معنی‌دار هستند)

Fig. 3. Interaction effect of treatment and storage time on titrable acidity of apple fruit (LSD, p≤0.05)

اثر کیتوسان، اسانس و غوطه‌وری در کلرید کلسیم بر مواد جامد محلول و شاخص طعم

تجزیه واریانس نشان داد که تیمار و زمان انبارمانی اثر معنی‌داری بر محتوای مواد جامد محلول و شاخص طعم در سطح احتمال یک درصد گذاشت (جدول ۱). براساس نتایج مقایسات میانگین، بیش‌ترین میزان مواد جامد محلول (۲۲/۷۵ درجه بریکس) در تیمار شاهد در روز ۱۲۰ام اندازه‌گیری به‌دست آمد و کم‌ترین میزان (۱۸ درجه بریکس) متعلق به تیمار ترکیبی کیتوسان + اسانس در روز صفر انبارمانی بود (شکل ۴). مقایسات میانگین برای شاخص طعم نیز نشان داد که بیش‌ترین مقدار (۱۶۳/۲۵) در تیمار شاهد در روز ۱۲۰ام بعد از انبارمانی مشاهده شد و کم‌ترین میزان شاخص طعم (۵۶/۴۶) در تیمار کیتوسان در روز صفر به‌دست آمد (شکل ۵). نتایج مشابهی برای میوه سیب (Pizato *et al*., 2022) گزارش گردید که با نتایج حاضر همخوانی داشت. مواد جامد محلول، اسیدهای قابل تیتراسیون و ویتامین ث مواد اصلی طعم دهنده هستند (Chen *et al*., 2016). مواد جامد محلول ماده اصلی تنفس بوده و معمولاً برای نشان دادن کیفیت و بلوغ میوه در پس از برداشت استفاده می‌شود (Zhao *et al*., 2014). افزایش مواد جامد محلول در طول دوره نگهداری احتمالاً به‌دلیل افزایش فعالیت آنزیمی است که مسئول تبدیل هیدرولیز نشاسته و قندهای نامحلول به قندهای محلول است که این تبدیل ممکن است منجر به تغییر در مقدار کربوهیدرات‌ها، پکتین و هیدرولیز جزئی پروتئین و تجزیه گلیکوزیدها به زیر واحدهای آن در طول تنفس شود. افزایش میزان تنفس و مصرف قند توسط سلول منجر به از دست دادن آب بیش‌تر شده که عامل مهمی در خراب شدن محصولات است (Dhakad *et al*., 2020).

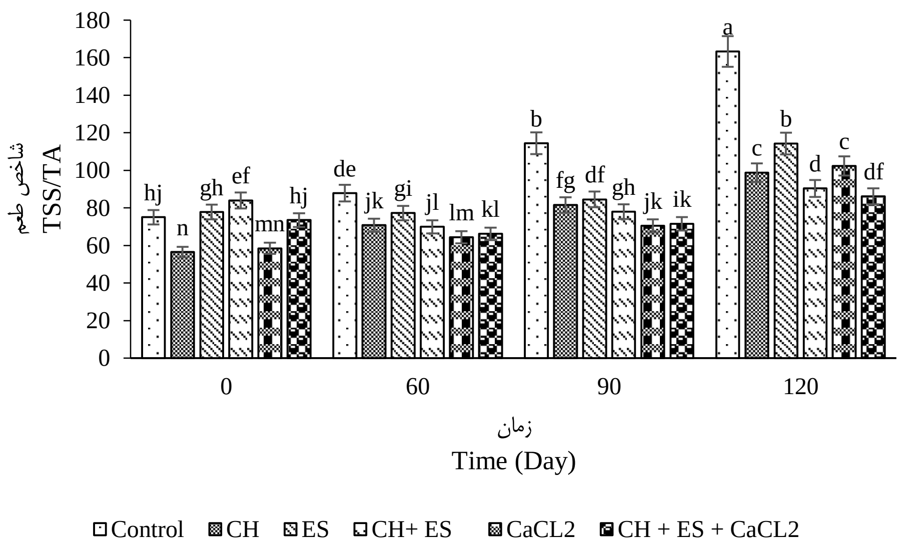
افزایش مواد جامد محلول و افزایش از دست دادن آب ارتباط تنگاتنگی دارد. محتوای کم ساکارز میوه (قند غیر احیا) می‌تواند نتیجه فرآیند آنابولیک و تنفس در طول رشد میوه و در نتیجه فعالیت بالای آنزیم اینورتاز در طول رسیدن میوه باشد (Veberic, 2016). کاربرد قبل از برداشت پوشش‌ها، فرآیند پیری را کاهش داده و باعث کاهش تولید و اثر اتیلن، کاهش تنفس و حفظ دیواره سلولی و در نهایت جلوگیری از افزایش مواد جامد محلول می‌شود (Steelheart *et al*., 2019). بنابراین، کاهش غلظت مواد جامد محلول ممکن است در نتیجه کاهش از دست دهی آب در میوه‌های تیمار شده در طی نگهداری پس از برداشت باشد (Gol *et al*., 2015).



شکل ٤- اثر متقابل تیمار و زمان انبارمانی بر مواد جامد محلول میوه سیب

(میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد غیر معنی‌دار هستند)

Fig. 4. Interaction effect of treatment and storage time on TSS of apple fruit (LSD, p≤0.05)



شکل ٥- اثر متقابل تیمار و زمان انبارمانی بر شاخص طعم میوه سیب

(میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد غیر معنی‌دار هستند)

Fig. 5. Interaction effect of treatment and storage time on TSS/TA of apple fruit (LSD, p≤0.05)

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر زمان و تیمار بر ویژگی‌های بیوشیمیایی میوه سیب

Table 2- ANOVA (mean squares) for the effect of time and treatment on biochemical traits of apple fruit

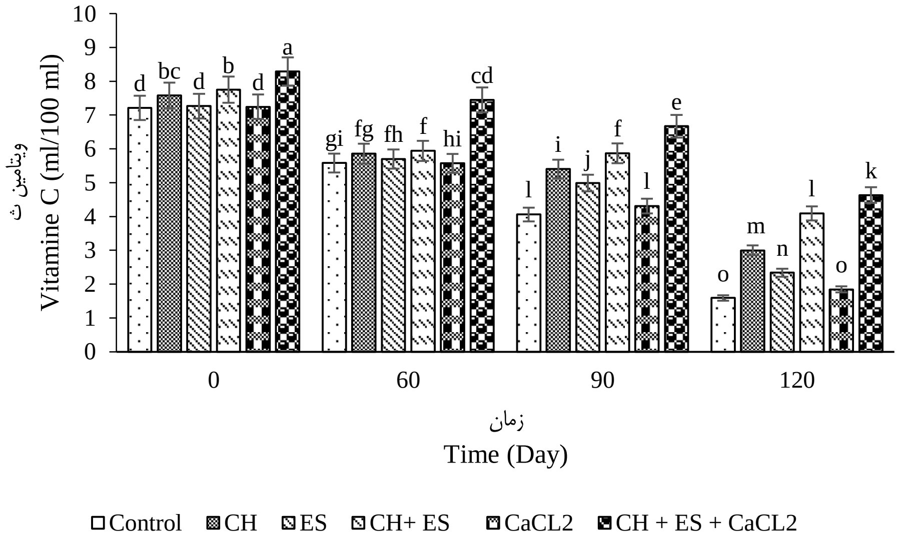
منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares ویتامین ث Vitamin C	مالون دی آلدئید MDA	فعالیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant activity	محتوای فنول کل TPC	محتوای فلاونوئید کل TFC	آنزیم پلی فنول اکسیداز PPO
تیمار (a) Treatment (a)	5	10.464**	0.734**	398.67**	16.473**	231.859**	0.000001**
زمان (b) Time (b)	3	89.918**	4.255**	1720.01**	212.413**	218.527**	0.000002**
تیمار*زمان a*b	15	0.724**	0.101**	11.15**	1.637**	9.821**	0.000005**
خطا Error	72	0.040	0.002	0.49	0.343	0.598	0.0000001
ضریب تغییرات (٪) CV. (%)	-	3.68	5.89	2.12	7.01	4.63	5.24

*، ** و ns: وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم اختلاف معنی‌دار.

*, ** and ns: Significant at 5% and 1% levels of probability and non-significant, respectively.

اثر کیتوسان، اسانس و غوطه‌وری در کلرید کلسیم بر ویتامین ث

براساس نتایج تجزیه واریانس اثر متقابل تیمارها بر میزان ویتامین ث در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). محتوای ویتامین ث در طول مدت زمان انبارمانی روندی کاهشی نشان داد، به‌طوری‌که کم‌ترین میزان (۱/۵۹ میلی‌لیتر در ۱۰۰ میلی‌لیتر عصاره میوه) در تیمار شاهد در روز ۱۲۰ام بعد از انبارمانی مشاهده شد و کم‌ترین میزان (۸/۲۹ میلی‌لیتر در ۱۰۰ میلی‌لیتر عصاره میوه) متعلق به تیمار ترکیبی کیتوسان + اسانس + کلرید کلسیم در روز صفر بود (شکل ۶). کاربرد کیتوسان در میوه انگور فخری (Shokri *et al.*, 2023) و کامپوزیت کیتوسان-اسانس در توت فرنگی (Ehtesham Nia *et al.*, 2023) موجب افزایش میزان ویتامین ث شد که با نتایج حاضر مطابقت دارد. همچنین کاربرد پس از برداشت کربنات کلسیم در میوه سیب (Asghari *et al.*, 2017) موجب جلوگیری از کاهش ویتامین ث شد. ویتامین ث نه تنها یک شاخص مهم برای ارزیابی کیفیت میوه و ارزش غذایی است، بلکه یک ماده آنتی‌اکسیدانی مهم برای حذف گونه‌های فعال اکسیژن از میوه است (Zhao *et al.*, 2014). علاوه بر این، ویتامین ث به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان و کوفاکتور در واکنش های ردوکس نیز نقش اصلی در فعال شدن مکانیسم‌های اپی ژنتیکی که تمایز سلولی را کنترل می‌کنند ایفا می‌کند (Fenech *et al.*, 2019). طی فرآیند انبارداری، میزان ویتامین ث تحت تأثیر فعالیت آنزیم اکسیدکننده اسیدآسکوربیک (آسکوربیناز) به سرعت کاهش می‌یابد. اسید آسکوربیک در مقایسه با سایر مواد مغذی طی فرآیند انبارداری نسبت به اکسیداسیون و تجزیه حساس‌تر است و دلیل احتمالی کاهش آن، اتواکسیداسیون است که به‌طور خودبخودی در مجاورت اکسیژن، اکسید می‌شود (Sogvar *et al.*, 2016). سطح اسیدآسکوربیک با رسیدن میوه به‌دلیل اثر مستقیم آنزیم اسید آسکوربیک اکسیداز (آسکوربیناز)، اکسیداسیون و کاهش می‌یابد و همچنین تغییر اسیدآسکوربیک به ۲ و ۳-نیکاسید دایکتوگولو باشد (Zhao *et al.*, 2014). پوشش کیتوسان تغییراتی را در میزان انتقال O_2 و CO_2 از طریق پوشش ایجاد می‌کند و لایه‌ای روی سطح میوه تشکیل داده که سرعت تنفس میوه پوشش داده شده را کاهش می‌دهد و اکسیداسیون اسیدآسکوربیک را به‌دلیل فعالیت اسیدآسکوربیک اکسیداز و پلی‌فنول اکسیداز حفظ می‌کند (Hussain *et al.*, 2019). پوشش‌های کامپوزیتی ممکن است محتویات ویتامین ث را به‌دلیل کاهش اکسیداسیون در سطح نفوذپذیر و محدودیت گاز تبادلی افزایش دهند. ترکیب پوشش‌های خوراکی، با محدود کردن تبادل گاز و نرخ تنفس از محتویات ویتامین محافظت کنند و موجب جلوگیری از قرار گرفتن آن در معرض نور و تمرکز آن در داخل میوه می‌شوند (Sun *et al.*, 2019).



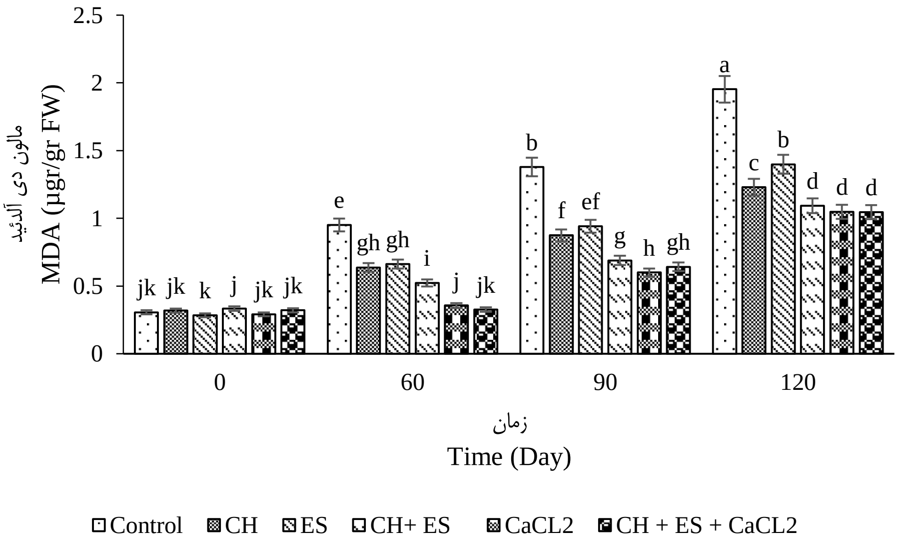
شکل ٦- اثر متقابل تیمار و زمان انبارمانی بر ویتامین ث میوه سیب

(میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد غیر معنی‌دار هستند)

Fig. 6. Interaction effect of treatment and storage time on vitamin C of apple fruit (LSD, p≤0.05)

اثر کیتوسان، اسانس و غوطه‌وری در کلرید کلسیم بر مالون دی آلدئید

طبق نتایج تجزیه واریانس، اثر متقابل تیمار و زمان انبارمانی در سطح احتمال یک درصد بر میزان مالون دی آلدئید معنی‌دار بود (جدول ۲). کاربرد کیتوسان، اسانس و کلرید کلسیم میزان مالون دی آلدئید را طی مدت زمان انبارمانی نسبت به تیمار شاهد کاهش داد. بیش‌ترین (۱/۹۵ میکروگرم بر گرم بافت تازه) و کم‌ترین (۰/۲۸۴ میکروگرم بر گرم بافت تازه) میزان مالون دی آلدئید میوه به‌ترتیب در تیمارهای شاهد در روز ۱۲۰ام و تیمار اسانس در روز صفر مشاهده شد (شکل ۷). از دست دادن یکپارچگی غشاء به‌دلیل از هم پاشیدگی و جداسازی در طول دوره رسیدن رخ می‌دهد (Adiletta *et al.*, 2021). استرس اکسیداتیو در پس از برداشت باعث از بین رفتن یکپارچگی غشا و افزایش محتوای مالون دی آلدئید می‌شود (Wang *et al.*, 2019). گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) مانند آنیون سوپراکسید (O_2^-)، رادیکال هیدروکسیل (OH)، پراکسید هیدروژن (H_2O_2) و اکسیژن منفرد (O_2) از فرآیندهای سلولی مانند تنفس در چندین اندامک سلولی تولید می‌شوند و به‌عنوان محصولات جانبی متابولیسم هوازی طبیعی یا به‌عنوان پاسخ به غیر زنده و تنش‌های زیستی تولید می‌شوند (Huan *et al.*, 2017). ROS همیشه به‌عنوان ترکیبات مضر شناخته شده است که در پراکسیداسیون لیپیدی نقش دارد و در نتیجه مسئول آسیب‌های غشایی و همچنین در اکسیداسیون سایر مولکول‌های بیولوژیکی مانند پروتئین‌ها، DNA و کربوهیدرات‌ها است (Wang *et al.*, 2019). کاهش پراکسیداسیون لیپیدی با فعالیت کم لیپوکسیژناز در ارتباط است و پوشش کیتوسان با حذف ROS موجب حفظ ساختار غشای سلولی می‌شود (Adiletta *et al.*, 2021). مطالعات زیادی وجود دارد که نشان می‌دهد سطح بالاتری از محتوای ATP می‌تواند پتانسیل غشاء را تثبیت کند، در نتیجه یکپارچگی غشای سلولی را حفظ کرده و پیشرفت پیری گیاه را به تاخیر می‌اندازد (Li *et al.*, 2020). حمله به غشاهای میتوکندری منجر به کاهش عملکرد H^+-ATPase، Ca^{2+}-ATPase و Mg^{2+}-ATPase برای حفظ یونی سلولی هموستاز برای حفظ یکپارچگی ساختار غشاهای سلولی و وضعیت انرژی می‌شود، نشان داده شده که کاربرد پوشش کیتوسان پس از برداشت فعالیت‌های H^+-ATPase، Ca^{2+}-ATPase و Mg^{2+}-ATPase را کاهش می‌دهد (Yang *et al.*, 2019). تیمار کردن میوه‌ها می‌تواند فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را افزایش دهد، ROS را حذف کرده و از افزایش مالون دی آلدئید جلوگیری کند، همچنین پوشش‌های پس از برداشت می‌توانند با محافظت از ساختارهای غشای سلولی، پیری پس از برداشت را به تأخیر اندازند (Song *et al.*, 2016).



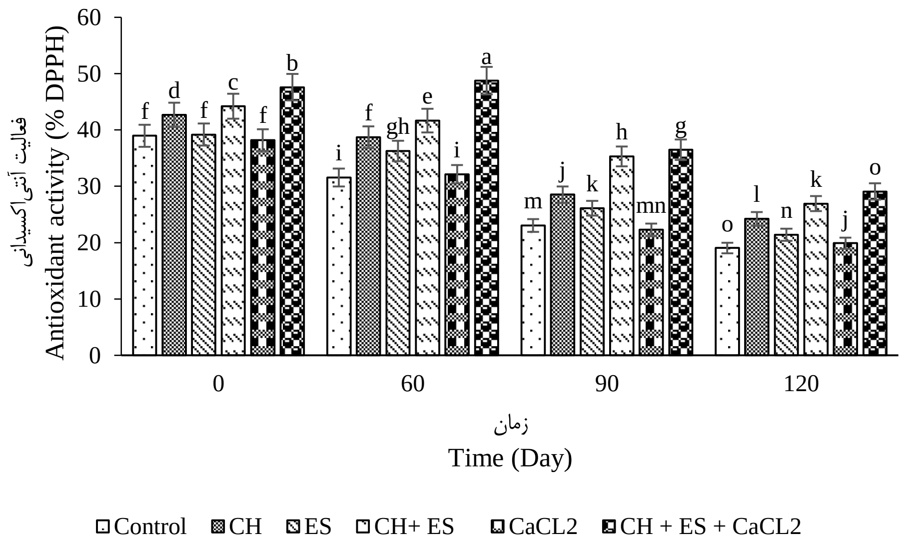
شکل ۷- اثر متقابل تیمار و زمان انبارمانی بر مالون دی آلدئید میوه سیب

(میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد غیر معنی‌دار هستند)

Fig. 7. Interaction effect of treatment and storage time on MDA of apple fruit (LSD, p≤0.05)

اثر کیتوسان، اسانس و غوطه‌وری در کلرید کلسیم بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی

براساس نتایج تجزیه واریانس اثر متقابل تیمارها بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). با افزایش مدت زمان انبارمانی، میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی بافت میوه کاهش نشان داد و تیمارهای ترکیبی موجب افزایش این ویژگی شدند. در تیمار ترکیبی کیتوسان + اسانس + کلرید کلسیم در روز ۶۰ام، بیش‌ترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۴۸/۷۳ درصد) و در تیمار شاهد در روز ۱۲۰ام، کم‌ترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۱۹/۰۳ درصد) وجود داشت (شکل ۸). رسیدن میوه فرآیندی پیچیده و برنامه‌ریزی شده ژنتیکی است که در آن، سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی نقش مهمی در حفظ گونه‌های اکسیژن فعال دارند (Adiletta *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2020). آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی مولکول‌های آلی هستند که شروع و یا انتشار واکنش‌های زنجیره‌ای رادیکال آزاد را سرکوب می‌کنند (Moussa *et al.*, 2020). در طول فرآیند پیری، فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها ممکن است کاهش یابد و استفاده از تیمارهای پس از برداشت می‌تواند پیری را به تأخیر بیندازد، اکسیداسیون ترکیبات فنولی را کاهش دهد و گونه‌های فعال اکسیژن را مهار کند (Ehteshamnia *et al.*, 2021). ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی می‌تواند به‌وسیله فاکتورهای محیطی تحت تأثیر قرار بگیرد و مشخص شده که ارتباط مثبتی بین ترکیبات فنولی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی وجود دارد. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی نشان‌دهنده توانایی مهار فرآیند اکسیداسیون است. آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی برای ایفای نقش ضروری در محافظت از سلول‌ها در برابر ROS ناشی از آسیب اکسیداتیو در دوران پیری ترکیبات فنولی توسط مسیرهای فنیل پروپانوئید سنتز می‌شوند (Gao *et al.*, 2016). علاوه بر این، فعالیت‌های مهار رادیکال DPPH و رادیکال هیدروکسیل به‌طور گسترده برای غربالگری آنتی‌اکسیدان‌ها استفاده شده است (Lu *et al.*, 2016). در میوه‌های انار تیمار شده با کارواکرول، سطح ترکیب‌های آنتی‌اکسیدانی افزایش معنی‌داری نشان داد که با نتایج پژوهش حاضر سازگار است (Iraqi *et al.*, 2021). افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، فعالیت قهوه‌ای شدن را کاهش می‌دهند و خاصیت ضد میکروبی ایجاد می‌کنند (Nair *et al.*, 2020). گزارش شده است که پوشش‌دهی میوه‌ها با کیتوسان، پیری میوه را به تأخیر می‌اندازد و محتوای فیتوشیمیایی را در طول ذخیره‌سازی افزایش می‌دهد (Xing *et al.*, 2021; Xing *et al.*, 2020). پوشش‌های مبتنی بر کیتوسان به‌عنوان یک مانع روی سطح میوه عمل می‌کنند که محتوای آنتی‌اکسیدانی غیر آنزیمی را در طول ذخیره‌سازی حفظ می‌کند (Modesti *et al.*, 2019). این ترکیبات، اتمسفر اطراف میوه را تغییر می‌دهند و به‌عنوان موانع نیمه تراوا عمل می‌کنند که تبادل گازی را کنترل می‌کنند و به‌دلیل اثر محافظتی، مانع از بین رفتن ترکیبات فنولی می‌شوند (Kerch *et al.*, 2015).



شکل ۸- اثر متقابل تیمار و زمان انبارمانی بر میزان کاهش وزن میوه سیب

(میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد غیر معنی‌دار هستند).

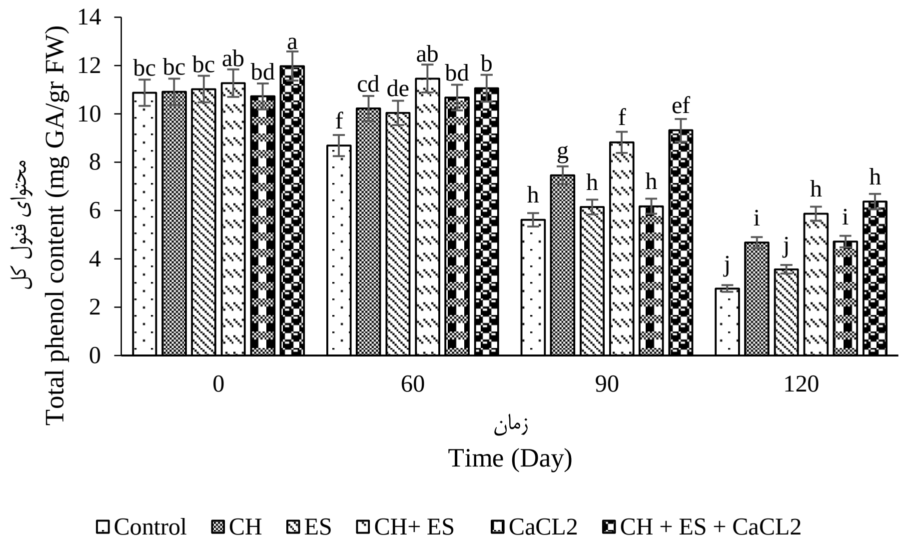
Fig. 8. Interaction effect of treatment and storage time on antioxidant activity of apple fruit (LSD, p≤0.05)

اثر کیتوسان، اسانس و غوطه‌وری در کلرید کلسیم بر محتوای فنول و فلاونوئید کل

تجزیه واریانس نشان داد که تیمار و مدت زمان انبارمانی، اثر معنی‌داری بر محتوای فنول و فلاونوئید کل در سطح احتمال یک درصد داشتند (جدول ۲). میزان فنول و فلاونوئید کل طی مدت زمان انبارمانی کاهش یافت و در نمونه‌های تیمار شده افزایش در هر دو ویژگی مشاهده گردید. بیش‌ترین میزان فنول (۱۱/۹۷ میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم بافت تازه) در تیمار ترکیبی کیتوسان + اسانس + کلرید کلسیم در روز صفر اندازه‌گیری به‌دست آمد و کم‌ترین میزان (۲/۷۷ میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم بافت تازه) متعلق به تیمار شاهد در روز ۱۲۰ام بعد از انبارمانی بود (شکل ۹). براساس مقایسات میانگین محتوای فلاونوئید، بیش‌ترین مقدار (۲۴/۸۸ میلی‌گرم کوئرستین بر گرم بافت تازه) در تیمار ترکیبی کیتوسان + اسانس + کلرید کلسیم در روز ۶۰ام بعد از انبارمانی مشاهده شد که، البته اختلاف معنی‌داری با همین تیمار در روز صفر نداشت، کم‌ترین محتوای فلاونوئید کل (۹/۰۹ میلی‌گرم کوئرستین بر گرم بافت تازه) نیز در تیمار شاهد در روز ۱۲۰ام به‌دست آمد (شکل ۱۰). جلوگیری از کاهش ترکیبات آنتی‌اکسیدانی فنول و فلاوئید کل در مراحل انبارمانی با استفاده از پوشش‌های کامپوزیتی در میوه‌های سیب (Rahmati Junidabad *et al.*, 2022) و توت فرنگی (Ehtesham Nia *et al.*, 2023) نیز گزارش شده است. میزان فنول کل طی فرآیند انبارداری بسته به شرایطی نظیر عوامل محیطی، نوع محصول، برداشت و مرحله برداشت و مرحله رسیدگی می‌تواند کاهش یا افزایش یابد. کاهش ترکیبات فنولی در انبار ممکن است مربوط به تخریب ساختار سلولی ناشی از پیری و تخریب میوه باشد. ترکیبات فنولی، از جمله فلاونوئیدها، متابولیت‌هایی هستند که توسط متابولیسم ثانویه از طریق مسیر فنیل پروپانوئید تولید می‌شوند و دارای مهار قوی رادیکال‌های آزاد است (Kerch *et al.*, 2015). فنول‌ها ترکیبات آنتی‌اکسیدانی هستند که باعث سنتز یک سری متابولیت‌های ثانویه از مسیر شیکیمیک اسید یا از طریق فنیل پروپانوئیدها می‌شوند. ترکیبات فنولی در پاکسازی از گونه‌های فعال اکسیژن برای تقویت فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌ها ضروری هستند (Rastegar *et al.*, 2021). علاوه بر تخریب ساختارهای سلولی ناشی از افزایش سن، ترکیبات فلاونوئیدی را می‌توان در طول ذخیره‌سازی به‌دلیل اکسیداسیون ترکیبات فنولی توسط پلی‌فنول اکسیداز کاهش داد. علاوه بر این، فلاونوئیدها متابولیت‌های ثانویه گیاهان هستند که رادیکال‌های بدون اکسیژن را با خود اکسیداسیون حذف می‌کنند. بنابراین، کاهش ترکیبات فلاونوئیدی در طول ذخیره سازی می‌تواند تا حدودی به‌دلیل افزایش رادیکال‌های آزاد اکسیژن در نتیجه فرآیند پیری باشد (Mighani *et al.*, 2016). در پس از برداشت، غلظت ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی یا به‌طور قابل ملاحظه‌ای ثابت است یا کاهش می‌یابد. علاوه بر این، با افزایش فعالیت پلی‌فنول اکسیداز در طول فرآیند پیری، مصرف پلی‌فنول‌ها افزایش می‌یابد و در نتیجه با افزایش سن میوه، محتوای کل ترکیبات فنولی بافت کاهش می‌یابد. فلاونوئیدها نیز از فراوان‌ترین فیتوکمیکال‌ها در میوه‌ها هستند و فعالیت‌های ضد تکثیر سرطان، آنتی‌اکسیدانی، ضد التهابی و استروژنی سلولی دارند (Ahn-Jarvis *et al.*, 2019). حفظ ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی در شرایط ایجاد پوشش بر سطح میوه، به تأخیر ایجاد شده در فرآیند پیری و کاهش فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز و یا افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نسبت داده شده است (Petriccione *et al.*, 2015). این پوشش‌ها با تغییر اتمسفر اطراف میوه در فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز که آنزیم کلیدی در بیوسنتز ترکیبات فنولی است (موجب تبدیل فنول به پلی‌فنول می‌شود) تاخیر ایجاد می‌کند. محلول کیتوسان با افزایش پتانسیل هضم‌کننده گونه‌های فعال اکسیژن، موجب افزایش فنول و آنتی‌اکسیدان می‌شود (Jongsri *et al.*, 2016). کیتوسان می‌تواند روی مسیر فنیل پروپانوئید عمل کند و موجب افزایش سطح ترکیبات فنولی در گیاهان شود و مسیر فنیل پروپانوئید شامل سنتز انواع متابولیت‌های ثانویه گیاهی مانند لیگنین‌ها، فلاونوئیدها، فرارهای فنولی و تانن‌ها است (Vogt *et al.*, 2018). مانع نیمه‌تراوای پوشش کیتوسان سرعت تنفس را محدود کرده، کاهش هدررفت آب و تأخیر در رسیدن و پیری که منجر به محتوای فنول کل بالاتر در طول ذخیره سازی شد (Shen & Yang, 2017).

اثر کیتوسان، اسانس و غوطه‌وری در کلرید کلسیم بر فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز

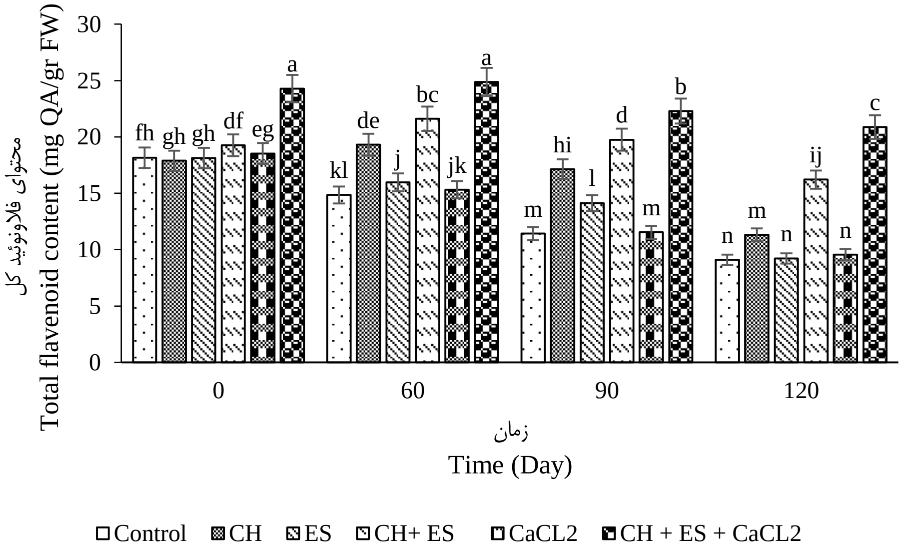
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل تیمار و زمان انبارمانی اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که افزایش مدت زمان انبارمانی، میزان فعالیت این آنزیم را افزایش داد و تیمارهای مورد استفاده در مراحل قبل و پس از برداشت، موجب کاهش فعالیت آنزیم شدند. بر همین اساس، بیش‌ترین فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز (۰/۰۰۱۲۴ واحد در گرم پروتئین) در تیمار شاهد در روز ۱۲۰ام بعد از انبارمانی به‌دست آمد و کم‌ترین میزان فعالیت (۰/۰۰۰۳۱ درصد) در تیمار ترکیبی کیتوسان + اسانس +کلرید کلسیم در زمان اول انبارمانی مشاهده شد (شکل ۱۱).



شکل ۹- اثر متقابل تیمار و زمان انبارمانی بر محتوای فنول کل میوه سیب

(میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد غیر معنی‌دار هستند).

Fig. 10. Interaction effect of treatment and storage time on total phenol content of apple fruit (LSD, p≤0.05)



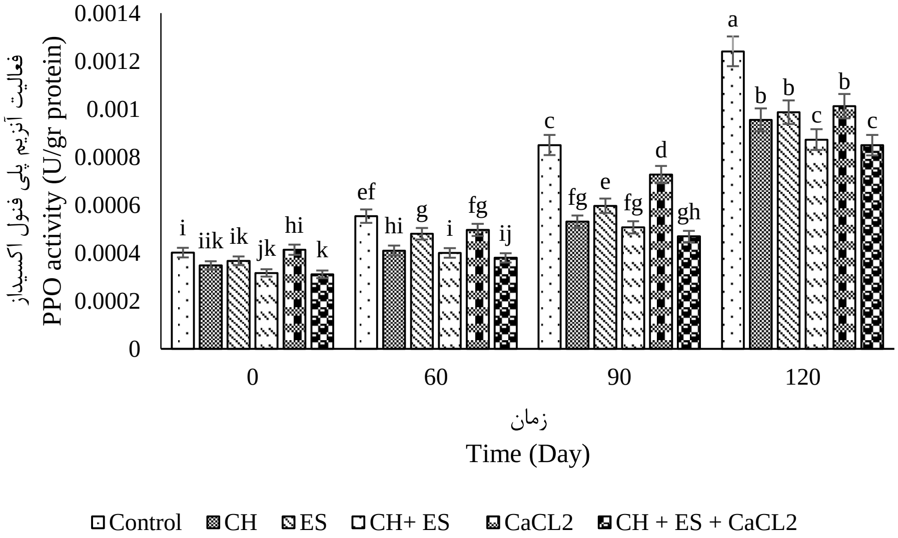
شکل ۱۰- اثر متقابل تیمار و زمان انبارمانی بر محتوای فلاونوئید کل میوه سیب

(میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد غیر معنی‌دار هستند).

Fig. 10. Interaction effect of treatment and storage time on total flavonoid content of apple fruit (LSD, p≤0.05)

تحقیقات نشان داده که کاربرد پوشش‌های پس از برداشت، موجب کاهش فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز در میوه‌های پسته (Barzaman *et al.*, 2018)، انگور رقم فخری (Shokri *et al.*, 2023) و سیب رقم گلدن دلیشز (Asghari *et al.*, 2018) شد که با نتایج حاضر مطابقت داشت. قهوه‌ای شدن آنزیمی یکی از مشکلات میوه‌ها بعد از برداشت می‌باشد که با اکسیداسیون طبیعی مواد فنولی توسط آنزیم پلی فنول اکسیداز در ارتباط بوده و این آنزیم مهم‌ترین علت قهوه‌ای شدن بافت می‌باشد که غالباً در طی رسیدگی و پیری و یا در شرایط تنش زمانی که به غشاء آسیب وارد شود، فعال می‌شود. پوشش‌های کامپوزیتی اکسیداسیون ترکیبات فنولی را با به تاخیر می‌اندازد و فلزات و رادیکال‌های آزاد را از بین می‌برند و یک ساختار شبه پیوندی، که مانع

از عبور مواد نفوذی مانند CO_2، O_2 و بخار آب شود را به وجود می‌آورند (Harnkarnsujarit *et al*., 2021).



شکل ۱۱- اثر متقابل تیمار و زمان انبارمانی بر فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز میوه سیب

(میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد غیر معنی‌دار هستند).

Fig. 11. Interaction effect of treatment and storage time on PPO enzyme activity of apple fruit (LSD, p≤0.05)

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، کاربرد تیمار ترکیبی کیتوسان + اسانس + کلرید کلسیم، موجب افزایش ویتامین ث، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای فنول و فلاونوئید کل شد و سبب جلوگیری از کاهش وزن میوه در طی انبارمانی شد. علاوه بر این، کاربرد این تیمار موجب بهبود سایر ویژگی‌ها از جمله کاهش مالون دی آلدئید، اسیدیته، مواد جامد محلول، شاخص طعم و فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز و افزایش اسیدهای قابل تیتراسیون گردید. بنابراین می‌توان اظهار نمود که علاوه بر اینکه این ترکیبات به تنهایی موجب بهبود کیفیت میوه سیب شدند، کاربرد ترکیبی آن‌ها نیز به‌عنوان پوششی زیست تخریب‌پذیر و طبیعی، جهت افزایش عمر انبارمانی میوه سیب رقم گلدن دلیشز قابل توصیه می‌باشد.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ تعارض منافعی ندارند.

میزان مشارکت نویسندگان

فاطمه عینی تاری: انجام آزمایشات، تحقیق و بررسی، روش‌شناسی، مدیریت داده‌ها، نوشتن-پیش‌نویس اصلی، **عبداله احتشام نیا:** مدیریت داده‌ها، مدیریت پروژه، نظارت، **حسن مومیوند:** مدیریت پروژه، نظارت. **محمدرضا راجی:** مدیریت پروژه، نظارت.

منابع تأمین مالی

این مقاله از رساله دکتری خانم فاطمه عینی تاری با حمایت مالی دانشگاه لرستان ارائه شده است که به این وسیله قدردانی می‌شود.

References

1. Abhirami, P., Modupalli, N., & Natarajan, V. (2020). Novel postharvest intervention using rice bran wax edible coating for shelf-life enhancement of *Solanum lycopersicum* fruit. *Journal of Food Processing and Preservation*, *44*(12), e14989. https://doi.org/10.1111/ jfpp.14989
2. Ackah, S., Bi, Y., Xue, S., Yakubu, S., Han, Y., Zong, Y., Atuna, R.A., & Prusky, D. (2022). Post-harvest chitosan treatment suppresses oxidative stress by regulating reactive oxygen species metabolism in wounded apples. *Front Plant Science*, *13*, 959762. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.959762

3. Adiletta, G., Di Matteo, M., & Petriccione, M. (2021). Multifunctional role of chitosan edible coatings on antioxidant systems in fruit crops: A review. *International Journal of Molecular Sciences*, *22*(5), 2633. https://doi.org/10.3390/ijms22052633
4. Adiletta, G., Pasquariello, M.S., Zampella, L., Mastrobuoni, F., Scortichini, M., & Petriccione, M. (2018). Chitosan coating: A postharvest treatment to delay oxidative stress in loquat fruits during cold storage. *Agronomy*, *8*(4), 54. https://doi.org/10.3390/agronomy8040054
5. Agricultural statistics. (2021). report of horticultural and greenhouse products. *publications of the deputy statistics of information and communication technology center*, *3*, 328 p. (In Persian)
6. Ahmadvand, H., Tavafic, M., & Khalatbary, A.R. (2012). Hepatoprotective and hypolipidemic effects of *Satureja khuzestanica* essential oil in alloxan-induced type 1 diabetic rats. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, *11*, 1219-1226. PMID: 24250556
7. Barzaman, M., Mirdehgan, S.H., & Nazoori, F. (2018). Combined application of polyamines and chitosan on bioactive compound and browning of fresh pistachio. *Nutrition Science and Food Technology*, *15*(81), 357-374. (In Persian). http://journal-irshs.ir/article-1-189-en.html
8. Ahn-Jarvis, J.H., Parihar, A., & Doseff, A.I. (2019). Dietary flavonoids for immunoregulation and cancer: Food design for targeting disease. *Antioxidants*, *8*(7), 202. https://doi.org/10.3390/antiox8070202
9. Alizadeh, A. (2013). Iranian endemic medicinal plants. Estahban Branch, *Islamic Azad University. Lecture notes.*
10. Asghari, M.R., Jami, R., & Farokhzad, A.R. (2017). Postharvest application of calcium carbonate nanoparticles on enzyme activity and some attributes quality in fresh cut apples varieties Golden Delicious. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, *13*(1), 155-166. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ifstrj.v1395i0.45104
11. Ashtiani, S.H.M., Rafiee, M., Morad, M.M., Khojastehpour, M., Khani, M.R., Rohani, A., Shokri, B., & Martynenko, A. (2020). Impact of gliding arc plasma pretreatment on drying efficiency and physicochemical properties of grape. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *63*, 102381. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102381
12. Beiparysa, A., Ebson Topno, S., Joseph, A.V., Bahadur, V., Kerketta, A., & Kesharwani, L. (2023). Effect of calcium chloride ($CaCl_2$) and carbon dioxide (CO_2) on post harvest quality of apple fruit (*Malus domestica*) cv. Gala. *International Journal of Plant & Soil Science*, *35*(18), 199-207. https://doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i183283
13. Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., & Berset, C.L.W.T. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology*, *28*(1), 25-30. https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5
14. Chauhan, C., Dhir, A., Akram, M.U., & Salo, J. (2021). Food loss and waste in food supply chains. A systematic literature review and framework development approach. *Journal of Cleaner Production*, 126438. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126438
15. Chen, C., Hu, W., He, Y., Jiang, A., & Zhang, R. (2016). Effect of citric acid combined with UV-C on the quality of fresh-cut apples. *Postharvest Biology and Technology*, *111*, 126-131. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.08.005
16. Cosme Silva, G.M., Silva, W.B., Medeiros, D.B., Salvador, A.R., Cordeiro, M.H.M., da Silva, N.M., Santana, D.B., & Mizobutsi, G.P. (2017). The chitosan affects severely the carbon metabolism in mango (*Mangifera indica* L. cv. Palmer) fruit during storage. *Food Chemistry*, *237*, 372-378. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.123
17. D Abrosca, B., Pacifico, S., Cefarelli, G., Mastellone, C., & Fiorentino, A. (2007). Limoncella apple, an Italian apple cultivar: phenolic and flavonoid contents and antioxidant activity. *Journal of Food Chemistry*, *104*, 1333-1337. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.01.073
18. Dhakad, A., Sonkar, P., Bepari, A., & Kumar, U. (2020). Effect of pre-harvest application of plant growth regulators and calcium salts on biochemical and shelf life of acid lime (*Citrus aurantifolia* Swingle). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, *9*(4), 1983-1985. www.phytojournal.com
19. Drogoudi, P.D., Michailidis, Z., & Pantelidis, G. (2008). Peel and flesh antioxidant content and harvest quality characteristics of seven apple cultivars. *Scientia Horticalturae*, *115*, 149-153. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.08.010
20. Ehtesham Nia, A., Taghipour, S., & Siahmansour, S. (2021). Pre-harvest application of chitosan and postharvest *Aloe vera* gel coating enhances quality of table grape (*Vitis vinifera* L. cv. 'Yaghouti') during postharvest period. *Food Chemistry*, *347*, 129012. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129012
21. Ehtesham Nia, A., Taghipour, S., & Siahmansour, S. (2022). Putrescine with *Aloe vera* gel coating improves bioactive compounds and quality of table grape under cold storage. *Journal of of Food Science and Technology*, *59*(10), 4085-4096. https://doi.org/10.1007/s13197-022-05461-w
22. Ehtesham Nia, A.E., Taghipour, S., Tatari, A., & Ghasemi Arshad, Z. (2023). Effects of preharvest chitosan-*Myrtus communis* essential oil composite and postharvest nanocellulose on quality of strawberry. *International Journal of Biological Macromolecules*, *253*, 126733. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126733
23. FAO. (2021). http://www.fao.org/fruitsvegetables-2021- 11/02/2022

24. Fenech, M., Amaya, I., Valpuesta, V., & Botella, M.A. (2019). Vitamin C content in fruits: Biosynthesis and regulation. *Frontiers in Plant Science*, *9*, 2006. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.02006
25. Forsline, P.L., & Aldwinckle, H.S. (2003). Evaluation of Malus sieversii seedling populations for disease resistance and horticultural traits. In *XI Eucarpia Symposium on Fruit Breeding and Genetics*, *663*, 529-534. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.663.92
26. Gao, H., Zhang, Z.K., Chai, H.K., Cheng, N., Yang, Y., Wang, D.N., & Cao, W. (2016). Melatonin treatment delays postharvest senescence and regulates reactive oxygen species metabolism in peach fruit. *Postharvest Biology and Technology*, *118*, 103-110. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.03.006
27. Gao, S.P., Hu, K.D., Hu, L.Y., Li, Y.H., Han, Y., Wang, H. L., & Zhang, H. (2013). Hydrogen sulfide delays postharvest senescence and plays an antioxidative role in fresh-cut kiwifruit. *HortScience*, *48*(11), 1385-1392. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.48.11.1385
28. Ghasemi Arshad, Z., Ehtsham Nia, A., Hizbavi, A., Momiwand, H., & Soleimani Aghdam, M. (2023). Pre-harvest application of chitosan with carvacrol on the biochemical, qualitative and shelf-life characteristics of strawberries. *Iranian Journal of Food Science and Industry Research*, *19*(5), 617-633. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ifstrj.2023.77806.1192
29. Gol, N.B., Vyas, P.B., & Ramana Rao, T.V. (2015). Evaluation of polysaccharide-based edible coatings for their ability to preserve the postharvest quality of Indian blackberry (*Syzygium cumini* L.). *International Journal of Fruit Science*, *15*(2), 198-222. https://doi.org/10.1080/15538362.2015.1017425
30. Harnkarnsujarit, N., Wongphan, P., Chatkitanan, T., Laorenza, Y., & Srisa, A. (2021). Bioplastic for sustainable food packaging. In *Sustainable food processing and engineering challenges* (pp. 203-277). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822714-5.00007-3
31. He, Y., Bose, S.K., Wang, W., Jia, X., Lu, H., & Yin, H. (2021). Pre-harvest treatment of chitosan oligosaccharides improved strawberry fruit quality. *International Journal of Molecular Science*, *19*(8), 2194. https://doi.org/10.3390/ijms19082194
32. Hong, K., Gong, D., Zhang, L., Hu, H., Jia, Z., Gu, H., & Song, K. (2016). Transcriptome characterization and expression profiles of the related defense genes in postharvest mango fruit against Colletotrichum gloeosporioides. *Gene*, *576*(1), 275-283. https://doi.org/10.1016/j.gene.2015.10.041
33. Huan, C., Han, S., Jiang, L., An, X., Yu, M., Xu, Y., & Yu, Z. (2017). Postharvest hot air and hot water treatments affect the antioxidant system in peach fruit during refrigerated storage. *Postharvest Biology and Technology*, *126*, 1-14. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.11.018
34. Hussain, P.R., Rather, S.A., Suradkar, P.P., & Ayob, O. (2019). Gamma irradiation treatment of quince fruit (*Cydonia oblonga* Mill): effect on post-harvest retention of storage quality and inhibition of fungal decay. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, *12*(1), 118-131. https://doi.org/10.1080/16878507.2019.1618588
35. Iraqi, H., Rastgar, S., Tajuddin, B., Nikkhah M., & Askari Sarcheshmeh, M. (2021). Preservation of antioxidant activity and reduction of microbial load of Aryl Pomegranate cultivar Meles Saveh using a film to preserve antioxidant activity containing chitosan and carvacrol. *Journal of Nutrition Science and Food Industry of Iran*, *16*(2), 130-121. (In Persian). https://doi.org/10.1080/16878507.2019.1618588
36. Jain, V., Chawla, S., Choudhary, P., & Jain, S. (2019). Post-harvest calcium chloride treatments influence fruit firmness, cell wall components and cell wall hydrolyzing enzymes of Ber (*Ziziphus mauritiana* Lamk.) fruits during storage. *Journal of Food Science and Technology*, *56*, 4535–4542. https://doi.org/10.1007/s13197-019-03934-z
37. Jan, I., Rab, A., & Sajid, M. (2012). Storage performance of apple cultivars harvested at different stages of maturity. *Journal of Anim. Plant Science, 22*, 438-447. https://doi.org/10.1080/16878507.2019.1618588
38. Jiang, Y.M., & Fu, J.R. (1998). Inhibition of polyphenol oxidase and the browning control of litchi fruit by glutathione and citric acid. *Food Chemistry, 62,* 49–52. https://doi.org/10.1016/S0308 -8146(97)00144-1
39. Jongsri, P., Wangsomboondee, T., Rojsitthisak, P., & Seraypheap, K. (2016). Effect of molecular weights of chitosan coating on postharvest quality and physicochemical characteristics of mango fruit. *Lwt*, *73*, 28-36. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.05.038
40. Kerch, G. (2015). Chitosan films and coatings prevent losses of fresh fruit nutritional quality: A review. *Trends in Food Science & Technology*, *46*(2), 159-166. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.10.010
41. Khaliq, G., Abbas, H.T., Ali, I., & Waseem, M. (2019). Aloe vera gel enriched with garlic essential oil effectively controls anthracnose disease and maintains postharvest quality of banana fruit during storage. Horticulture, *Environment and Biotechnology*, *60*(5), 1-11. https://doi.org/10.1007/s13580-019-00159-z
42. Khan, A.S., Singh, Z., Abbasi, N.A., & Swinny, E.E. (2008). Pre- or post-harvest application of putrescine and low temperature storage affect fruit ripening and quality of Angelino plum. *Science of food and Agriculture*, *88*, 1686-1695. https://doi.org/10.1002/jsfa.3265

43. Li, D., Zhang, X., Qu, H., Li, L., Mao, B., Xu, Y., & Luo, Z. (2020). Delaying the biosynthesis of aromatic secondary metabolites in postharvest strawberry fruit exposed to elevated CO_2 atmosphere. *Food Chemistry*, *306*, 125611. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125611
44. Lister, C.E., Lancaster, J.E., & Sutton, K.H. (1994). Developmental changes in the concentration and composition of flavonoids in skin of a red and a green apple cultivar. *Journal of Science of Food and Agriculture*, *64*, 155-161. https://doi.org/10.1002/jsfa.2740640204
45. Liu, Z., Du, M., Liu, H., Zhang, K., Xu, X., Liu, K., & Liu, Q. (2021). Chitosan films incorporating litchi peel extract and titanium dioxide nanoparticles and their application as coatings on watercored apples. *Progress in Organic Coatings*, *151*, 106103. https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2020.106103
46. Lu, H., Li, L., Limwachiranon, J., Xie, J., & Luo, Z. (2016). Effect of UV-C on ripening of tomato fruits in response to wound. *Scientia Horticulturae*, *213*, 104-109. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.10.017
47. Mahajan, P.V., Caleb, O.J., Singh, Z., Watkins, C.B., & Geyer, M. (2014). Postharvest treatments of fresh produce. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, *372*(2017), 20130309. https://doi.org/10.1098/rsta.2013.0309
48. Michailidis, M., Karagiannis, E., Tanou, G., Samiotaki, M., Tsiolas, G., Sarrou, E., Stamatakis, G., Ganopoulos, I., Martens, S., Argiriou, A., & Molassiotis, A. (2020). Novel insights into the calcium action in cherry fruit development revealed by highthroughput mapping. *Plant Molecular Biology*, *104*, 597–614. https://doi.org/10.1007/s11103-020-01063-2
49. Mighani, H., Boroumand, N., & Moghbeli, A. (2016). The effect of chitosan and calcium chloride on post-harvest quality and antioxidant compounds of strawberry fruit. *Food Science and Industry*, 76-15. (In Persian)
50. Miraei Ashtiani, S.H., Rafiee, M., Mohebi Morad, M., & Martynenko, A. (2022). Cold plasma pretreatment improves the quality and nutritional value of ultrasound-assisted convective drying: The case of goldenberry. *Drying Technology*, 1-19. https://doi.org/10.1080/07373937.2022.2050255
51. Misir, J., Brishti, F.H., & Hoque, M.M. (2014). Aloe vera gel as a novel edible coating for fresh fruits: A Review. *American Journal of Food Science and Technology*, *2*(3), 93-97. https://doi.org/10.12691/ajfst-2-3-3
52. Modesti, M., Zampella, L., & Petriccione, M. (2019). Chitosan mono-and bilayer edible coatings for preserving postharvest quality of fresh fruit. *Polymers for Agri-Food Applications*, 465-486. https://doi.org/10.1007/978-3-030-1946-1-23
53. Moussa, H., El Omari, B., Chefchaou, H., Tanghort, M., Mzabi, A., Chami, N., & Remmal, A. (2021). Action of thymol, carvacrol and eugenol on *Penicillium* and *Geotrichum* isolates resistant to commercial fungicides and causing postharvest citrus decay. *Canadian Journal of Plant Pathology*, *43*(1), 26-34. https://doi.org/10.1080/07060661.2020.1767692
54. Nair, M.S., Tomar, M., Punia, S., Kukula-Koch, W., & Kumar, M. (2020). Enhancing the functionality of chitosan-and alginate-based active edible coatings/films for the preservation of fruits and vegetables: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, *164*, 304-320. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.083
55. Palmer, J.W. (2006). Apples and kiwifruit, can we learn from each other?. In *VI International Symposium on Kiwifruit*, *753*, 359-368. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.753.45
56. Pavun, L., MarKovic, S., Stankov, M., Dikanovic, D., &Durdevic, P. (2018). Determination of flavonoids and total polyphenol contents in commercial apple juices. *Czech Journal of Food Sciences*, *36*(3), 233-238. https://doi.org/10.17221/211/2017-CJFS
57. Pessoa, C.C., Marques, A.C., Coelho, A.R.F., Daccak, D., Luís, I.C., Ramalho, J.C., Campos, P.S., Pais, I.P., Semedo, J.N., & Silva, M.M. (2022). Assessment of calcium content in pear fruits under storage after $CaCl_2$ applications during pre- and post-harvest phases. *Biological Life Science Forum*, *16*, 9. https://doi.org/10.3390/IECHo2022-12481
58. Petriccione, M., De Sanctis, F., Pasquariello, M.S., Mastrobuoni, F., Rega, P., Scortichini, M., & Mencarelli, F. (2015). The effect of chitosan coating on the quality and nutraceutical traits of sweet cherry during postharvest life. *Food and Bioprocess Technology*, *8*, 394-408. https://doi.org/10.1007/s11947-014-1411-x
59. Pizato, S., Sebastian Vega-Herrera, S., Costa Chevalier, R., Arevalo Pinedo, R., & Renzo Cortez-Vega, W. (2022). Impact of chitosan coatings enriched with clove essential oil on quality of minimally processed strawberries. *Food/Feed Science and Technology Journal*, *65*, e22210278. https://doi.org/10.1590/1678-4324-2022210278.
60. Rahmati Junidabad, M., Alizadeh Behbahani, B., & Naushad, M. (2022). Chemical characteristics and investigation of inhibitory and lethal activity of the growth of fungi that cause spoilage and mold after harvesting apple fruit using bitter myrrh essential oil. *Iranian Journal of Food Science and Industry*, *31*(19), 231-223. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/FSCT.19.131.223
61. Rastegar, S., & Atrash, S. (2021). Effect of alginate coating incorporated with Spirulina, Aloe vera and guar gum on physicochemical, respiration rate and color changes of mango fruits during cold storage. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *15*, 265-275. https://doi.org/10.1007/s11694-020-00635-6

62. Rezvanifar, M.A., Farshid, A.A., Sadrkhanlou, R.A., Ahmadi, A., Rezvanfar, M.A., & Salehnia, A., Abdollahi, M. (2010). Benefit of *Satureja khuzestanica* in subchronically rat model of cyclophosphamideinduced hemorrhagic cystitis. *Exp Molecular Pathology*, *62*, 323–330. https://doi.org/10.1016/j.etp.2009.05.005
63. Rocculi, P., Romani, S., & Dalla Rosa, M. (2004). Evaluation of physico-chemical parameters of minimally processed apples packed in non-conventional modified atmosphere. *Food Research International*, *37*(4), 329-335. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2004.01.006
64. Rokayya, S., Khojah, E., Elhakem, A., Benajiba, N., Chavali, M., Vivek, K., & Helal, M. (2021). Investigating the nano-films effect on physical, mechanical properties, chemical changes, and microbial load contamination of white button mushrooms during storage. *Coatings*, *11*(1), 44. https://doi.org/10.3390/coatings11010044
65. Sadeghi-Nejad, B., Saki, J., Khademvatan, S., & Nanaei, S. (2011). In vitro antileishmanial activity of the medicinal plant *Satureja khuzestanica* Jamzad. *Journal Medicinal Plants Research*, *5*, 5912-5915. http://www.academicjournals.org/JMPR ISSN 1996-0875
66. Saei-Dehkordi, S., Fallah, A.A., HeidariNasirabadi, M., & Moradi, M. (2012). Chemical composition, antioxidative capacity and interactive antimicrobial potency of *Satureja khuzestanica* Jamzad essential oil and antimicrobial agents against selected food-related microorganisms. *Internatinal Journal Food Scieance Technology*, *47*, 1579–1585. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03006.x
67. Salvia-Trujillo, L., Rojas-Grau, M.A., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2015). Use of antimicrobial nanoemulsions as edible coatings: Impact on safety and quality attributes of fresh-cut Fuji apples. *Postharvest Biology and Technology*, *105*, 8-16. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.03.009
68. Sharma, R., Kamble, S.S., Gunasekaran, A., Kumar, V., & Kumar, A. (2020). A systematic literature review on machine learning applications for sustainable agriculture supply chain performance. *Computers & Operations Research*, *119*, 104926. https://doi.org/10.1016/j.cor.2020.104926
69. Shen, Y., & Yang, H. (2017). Effect of preharvest chitosan-g-salicylic acid treatment on postharvest table grape quality, shelf life, and resistance to *Botrytis cinerea*-induced spoilage. *Scientia Horticulturae*, *224*, 367-373. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.06.046
70. Shokouhian, A.A., Einizadeh, S., & Dashti, M. (2024). The effect of edible coatings on the quality and storage life of Cherry cv. Lambert. *Iranian Food Science and Technology Research Journal, 20(*2), 237-247. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ifstrj.2023.81146.1236
71. Shokri, M., Rahmati-Joneidabad, M., Heidari, M., Rasouli, M., & Zare, A. (2023). The effect of chitosan edible coating on physicochemical properties and enzymatic activity of grape fruit cultivar Fakhri in cold storage conditions. *Iranian Food Science and Technology Research Journal 19*(1), 95-106. (In Persian with English abstract). http://doi.org/10.22067/ifstrj.2022.75449.1150
72. Sogvar, O.B., Saba, M.K., & Emamifar, A. (2016). Aloe vera and ascorbic acid coatings maintain postharvest quality and reduce microbial load of strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, *114*, 29-35. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.11.019
73. Song, H., Yuan, W., Jin, P., Wang, W., Wang, X., Yang, L., & Zhang, Y. (2016). Effects of chitosan/nano-silica on postharvest quality and antioxidant capacity of loquat fruit during cold storage. *Postharvest Biology and Technology*, *119*, 41-48. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.04.015
74. Steelheart, C., Alegre, M.L., Bahima, J.V., Senn, M.E., Simontacchi, M., Bartoli, C.G., & Grozeff, G.E.G. (2019). Nitric oxide improves the effect of 1-methylcyclopropene extending the tomato (*Lycopersicum esculentum* L.) fruit postharvest life. *Scientia Horticulturae*, *255*, 193-201. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.035
75. Sun, X., Baldwin, E., & Bai, J. (2019). Applications of gaseous chlorine dioxide on postharvest handling and storage of fruits and vegetables–A review. *Food Control*, *95*, 18-26. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.07.044
76. Szlachta, M., Neitola, R., Peraniemi, S., & Vepsalainen, J. (2020). Effective separation of uranium from mine process effluents using chitosan as a recyclable natural adsorbent. *Sep. Purif. Techno*logy, *253*, 117493. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117493
77. Teuber, R., & Jensen, J.D. (2020). Definitions, measurement, and drivers of food loss and waste. *In Food Industry Wastes* (pp. 3-18). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817121-9.00001-2
78. Vargas, M., Albors, A., Chiralt, A., & Gonzalez-Martínez, C. (2006). Quality of cold-stored strawberries as affected by chitosan–oleic acid edible coatings. *Postharvest Biology and Technology*, *41*(2), 164-171. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.03.016
79. Veberic, R. (2016). The impact of production technology on plant phenolics. *Horticulturae*, *2*(3), 8. https://doi.org/10.3390/horticulturae2030008
80. Vieira, J.M., Flores-Lopez, M.L., de Rodríguez, D.J., Sousa, M.C., Vicente, A.A., & Martins, J.T. (2016). Effect of chitosan–Aloe vera coating on postharvest quality of blueberry (*Vaccinium corymbosum*) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, *116*, 88-97. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.01.011

81. Vogt, S., Kelkenberg, M., Noll, T., Steinhoff, B., Schonherr, H., Merzendorfer, H., & Noll, G. (2018). Rapid determination of binding parameters of chitin binding domains using chitin-coated quartz crystal microbalance sensor chips. *Analyst*, *143*(21), 5255-5263. https://doi.org/10.1039/C8AN01453A
82. Wang, F., Zhang, X., Yang, Q., & Zhao, Q. (2019). Exogenous melatonin delays postharvest fruit senescence and maintains the quality of sweet cherries. *Food Chemistry*, *301*, 125311. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125311
83. Wu, X., Yan, L., Hu, X., & Lian, M. (2023). Effect of foliar calcium fertilization on fruit quality, cell wall enzyme activity and expression of key genes in Chinese cherry. *International Journal of Fruit Science*, *23*(1), 200–216. https://doi.org/10.1080/15538362.2023.2265656
84. Xing, Y., Yang, H., Guo, X., Bi, X., Liu, X., Xu, Q., & Zheng, Y.I. (2020). Effect of chitosan/Nano-TiO_2 composite coatings on the postharvest quality and physicochemical characteristics of mango fruits. *Scientia Horticulturae*, *263*, 109135. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109135
85. Xing, Y., Yang, S., Xu, Q., Xu, L., Zhu, D., Li, X., & Bi, X. (2021). Effect of chitosan/nano-TiO_2 composite coating on the postharvest quality of blueberry fruit. *Coatings*, *11*(5), 512. https://doi.org/10.3390/coatings11050512
86. Yang, C., Chen, T., Shen, B., Sun, S., Song, H., Chen, D., & Xi, W. (2019). Citric acid treatment reduces decay and maintains the postharvest quality of peach (*Prunus persica* L.) fruit. *Food Science & Nutrition*, *7*(11), 3635-3643. https://doi.org/10.1002/fsn3.1219
87. Zarrin, M., Amirrajab, N., & Sadeghi-Nejad, B. (2010). In vitro antifungal activity of *Satureja khuzestanica*. *Pakistan Journal of Medical Sciences*, *26*, 880-882. URL: http://jjm.ajums.ac.ir.
88. Zhang, W., Jiang, H., Cao, J., & Jiang, W. (2021). Advances in biochemical mechanisms and control technologies to treat chilling injury in postharvest fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, *113*, 355-365. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.009
89. Zhang, W., Shu, C., Chen, Q., Cao, J., & Jiang, W. (2019). The multi-layer film system improved the release and retention properties of cinnamon essential oil and its application as coating in inhibition to *Penicillium expansion* of apple fruit. *Food Chemistry*, *299*, 1-8. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125109
90. Zhang, X., Qu, H., Li, L., Mao, B., Xu, Y., & Luo, Z. (2020). Delaying the biosynthesis of aromatic secondary metabolites in postharvest strawberry fruit exposed to elevated CO_2 atmosphere. *Food Chemistry*, *306*, 125611. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125611
91. Zhao, L., Wang, Y., Qiu, D., & Liao, X. (2014). Effect of ultrafiltration combined with high-pressure processing on safety and quality features of fresh apple juice. *Food and Bioprocess Technology*, *7*, 3246-3258. http://doi.org/10.1007/s11947-014-1307-9
92. Zheng, X., & Tian, S. (2006). Effect of oxalic acid on control of postharvest browning of litchi fruit. *Food Chemistry*, *96*(4), 519-523. https://doi.org/10.1016/j. foodchem.2005.02.049
93. Zhi, H.H., Liu, Q.Q., Dong, Y., Liu, M.P., & Zong, W. (2017). Effect of calcium dissolved in slightly acidic electrolyzed water on antioxidant system, calcium distribution, and cell wall metabolism of peach in relation to fruit browning. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, *92*(6), 621–629. https://doi.org/10.1080/14620316.2017.1309994